

Projet "SUCRETTE"

Système de sUivi de la Canne à sucRE par TélédéTEction

Analyse de l'existant et des besoins des utilisateurs
à Maurice, La Réunion et Guadeloupe



S P O T
I M A G E



A. Bégué, N. Iltis, G. Despres, P. Todoroff, B. Siegmund
(Avril 2003)

"ETRE CANNE"

Le présent document a été rédigé à partir de deux missions de terrain au cours desquelles ont été rencontrés différents acteurs de la filière canne à sucre : une mission effectuée à l'île Maurice et à l'île de la Réunion du 26 septembre au 5 octobre 2002, et une mission en Guadeloupe du 5 au 14 février 2003.

La liste des personnes rencontrées est donnée en annexe de ce document.

Nota Bene :

Ce rapport a été rédigé à partir de deux missions de terrain au cours desquelles ont été rencontrés différents acteurs de la filière canne à sucre : une mission effectuée à l'île Maurice et à l'île de la Réunion du 26 septembre au 5 octobre 2002, et une mission en Guadeloupe du 5 au 14 février 2003.

La liste des personnes rencontrées est donnée en annexe de ce document.

Table des matières

CONTEXTE GÉNÉRAL	4
1. Le marché du sucre.....	4
1.1. Le sucre dans le monde	4
1.2. Le sucre et l'OMC	4
1.3. L'OCM sucre.....	5
1.4. Le Protocole Sucre des pays ACP	6
2. La culture de la canne	6
3. La production de canne à Maurice, La Réunion et Guadeloupe.....	6
3.1. La production à Maurice	7
3.1.a. Quelques chiffres.....	7
3.1.b. Les difficultés et les objectifs.....	8
3.2. La production à la Réunion.....	9
3.2.a. Quelques chiffres.....	9
3.2.b. Les subventions.....	10
3.2.c. Les difficultés et les objectifs.....	11
3.3. La production en Guadeloupe	12
Quelques chiffres.....	12
3.3.b. Les difficultés et les objectifs.....	13
ANALYSE DE L'EXISTANT	14
4. Maurice	14
4.1. Le MSIRI	14
4.2. La plantation de Médine	15
4.3. Le SIFB	16
4.4. Les besoins exprimés à Maurice	17
5. La Réunion	17
5.1. Les principaux acteurs de la filière.....	17
5.1.a. Le Comité de Pilotage de la Canne.....	17
5.1.b. La Chambre d'Agriculture.....	17
5.1.c. Le CTICS.....	18
5.1.d. Direction de l'Agriculture et de la Forêt (DAF).....	18
5.1.e. Les usiniers.....	18
5.1.f. Le CIRAD.....	19
5.1.g. Autres acteurs	20
5.2. Les projets « information géographique » existants	20
5.2.a. La Base de Données TOPOgraphiques de la Réunion :	20
5.2.b. La BD parcellaire canne :	20
5.3. Les besoins exprimés à la Réunion.....	21
6. La Guadeloupe	22
6.1. Les principaux acteurs de la filière	22
6.2. La plantation de Gardel	23
6.3. Les projets « information géographique » existants	24
6.3.a. Le SIG « canne »	24
6.3.b. Le projet AGRIGUA	24
6.4. Les besoins exprimés en Guadeloupe :	25
BILAN DES BESOINS	26
7. Les produits cartographiques	26
8. Le système d'information	27
8.1. Traitement des images chez un opérateur spatial :	27
8.2. Un SIG dédié en local :	27
DOCUMENTS DE TRAVAIL	28
PERSONNES RENCONTRÉES	29
ANNEXES :	30

1. Le marché du sucre

1.1. Le sucre dans le monde

Le sucre est produit à partir de la betterave dans les pays du Nord et de canne à sucre dans les pays du Sud. Ces cultures couvrent plus de 25 millions d'hectares et la betterave est depuis quelques années en perte de vitesse par rapport à la canne à sucre (Figure 1). La canne couvre 76% de cette surface (soit plus de 19 millions d'hectares) répartie dans 99 pays (Annexe 1). Le Brésil et l'Inde ont de très loin les plus grandes surfaces cultivées (5 et 4 M ha respectivement), suivis par la Chine et Cuba (environ 1.2 M ha).

La production mondiale de sucre (canne et betterave) tourne autour de 130 millions de tonnes par an. Les plus gros producteurs sont le Brésil et l'Inde (autour de 20 millions de tonnes), puis l'Europe (19 millions de tonnes) et la Chine (autour de 8 millions de tonnes).

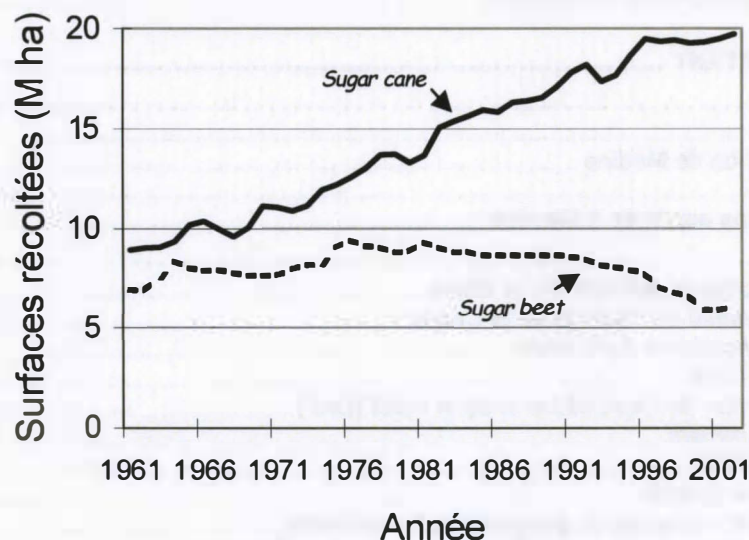


Figure 1 : Surfaces cultivées en plantes sucrières dans le monde (FAO stats, 2002).

Dans la plupart des pays, la production est destinée à la consommation locale. Près de 30% de la production mondiale de sucre est commercialisée sur le marché international. Depuis 1995, le Brésil est devenu le premier exportateur avec une part de marché de 18%. Il a ainsi dépassé l'Union Européenne (16,5%) qui a longtemps occupé cette position.

Des informations supplémentaires sur la production de canne dans le monde sont données en Annexe 1.

1.2. Le sucre et l'OMC

Le marché mondial du sucre est qualifié de "maigre". Acheteurs et vendeurs sont peu nombreux et les prix fluctuent fortement selon les quantités de sucre disponibles sur le marché. Les fluctuations des cours ont de lourdes conséquences pour les petits producteurs. La production de sucre de

betterave vendue au prix du marché mondial par l'UE sur les marchés extérieurs contribue à cette situation.

Mais l'Union Européenne protège son marché. Des tarifs douaniers importants ont été appliqués sur le sucre hors Europe, excepté pour les pays ACP (Afrique, Caraïbes et Pacifique). En revanche, l'UE a mis en place un système de prix garantis pour les producteurs européens. Ces prix (630 € la tonne de "sucre A" qui représente 80 % du quota) sont plus élevés que ceux du marché mondial (en moyenne 2.5 fois). Même si l'UE a été forcée de modifier ses procédures de soutien à l'exportation de sucre, les aides apportées restent encore suffisamment attractives pour les producteurs européens. Ces exportations contribuent à augmenter les quantités disponibles sur le marché international et donc à maintenir le prix mondial à un faible niveau, affectant ainsi les revenus de producteurs du Sud, en particulier le Brésil, l'Australie, la Thaïlande et Cuba.

L'OMC (Organisation Mondiale du Commerce) exige de l'UE et des autres pays producteurs une réforme fondamentale de leur politique. Dans le cadre des accords de l'OMC, l'Europe doit réduire ses subventions. Les taxes d'importation sur le sucre exporté vers l'UE doivent être supprimées.

1.3. L'OCM sucre

L'objectif de L'OCM¹ Sucre (Organisation Commune des Marchés) est l'encadrement de la production européenne de sucre (soutien des prix, maîtrise de la production, stockage et subventions à l'exportation) et le maintien d'un système d'importations préférentielles pour soutenir la production des pays ACP et de l'Inde.

L'OCM Sucre repose essentiellement sur l'existence de quotas de production de sucre répartis entre les Etats membres. Seul le sucre produit sous quotas ouvre droit au bénéfice des mécanismes de soutien. A l'inverse, il existe une catégorie de sucre produit hors quota (le " sucre C ") exclusivement destiné à être exporté sans restitutions et dont la production varie selon les prix en vigueur sur le marché mondial.

Le mécanisme de l'OCM permet la répartition d'un revenu équitable entre les planteurs et les industriels. Le prix d'intervention (prix du sucre sous quota A) est fixé, en contrepartie le prix d'achat de la betterave est lui aussi arrêté. En France c'est le FIRS (Fonds d'Intervention et de Régularisation du marché du Sucre).

La mise en place de l'OCM Sucre a permis un développement efficace de la production européenne de sucre qui occupe ainsi la 2^{ème} place mondiale pour la production de sucre et le 2^{ème} rang mondial pour les exportations.

L'OCM Sucre ne pèse pas sur le budget communautaire, l'essentiel des mesures mises en oeuvre dans son cadre étant à la charge de la filière elle-même.

La Commission européenne prévoit une réforme l'OCM suite aux constats suivants :

- surélévation des prix du sucre communautaire par rapport au sucre mondial. Sur le marché mondial, le prix du sucre baisse en raison d'excédent de production. Le système de prix garanti entraîne une surélévation des prix communautaires qui se retrouvent trois fois plus cher que le sucre mondial ;
- manque de concurrence entre les opérateurs de la filière, à cause de la segmentation du marché du sucre et de la concentration de l'industrie sucrière ;
- impact de l'exportation des surplus de production sur la production des pays en développement.

Le nouveau règlement (adopté au Conseil des Ministres du 22 mai 2001) impose :

¹ <http://www.senat.fr/rapsen>

- une réduction des quotas prévus de 115 000 tonnes de sucre,
- la suppression du financement du stockage des sucres reportés,
- la suppression du forfait industrie chimique pour le sucre écoulé par cette industrie.

Cette réforme est considérée comme dangereuse pour l'avenir de l'OCM Sucre par les professionnels de la filière.

Les perspectives d'évolution de l'OCM sont conditionnées aux négociations menées dans le cadre de l'OMC : elles ont commencé conformément aux lignes directrices arrêtées à Doha en novembre 2001.

1.4. Le Protocole Sucre des pays ACP

Le Protocole Sucre (annexé à la Convention de Lomé) signé en 1975 entre les Etats membres de la Communauté et les pays exportateurs de sucre de la zone ACP comprend trois garanties principales, l'accès, les prix et la durée. La Communauté s'engage, pour une période indéterminée à acheter et à importer, à des prix garantis, des quantités spécifiées de sucre de canne, blanc ou brut, originaire des Etats ACP.

- Pour l'accès, les pays ACP exportateurs de sucre sont assurés ainsi d'un marché dans l'Union Européenne pour des quantités spécifiées de sucre, sans supporter de droits de douanes.
- Pour le prix, ce sucre est acheté à des prix garantis négociés annuellement, en rapport avec les prix obtenus dans la Communauté pour le sucre roux et le sucre blanc. A ce titre, il est plus élevé et stable que les cours mondiaux connus pour leur volatilité.
- Pour la durée, le protocole a une durée indéterminée. En d'autres termes, il n'a pas une limite dans le temps et est donc, à cet égard, différent de la Convention de Lomé qui, elle, est renégociée à intervalles réguliers.

2. La culture de la canne

La canne est une plante vivace qui repousse spontanément après chaque récolte. Cependant, au bout de quelques années (7 à 8 ans), le tonnage diminue et économiquement le planteur a intérêt à renouveler sa parcelle. C'est pourquoi le planteur replante chaque année 10 à 15% de son exploitation.

La canne est peu exigeante en matière de sol et d'intrants mais a besoin d'eau et un déficit hydrique diminue le rendement. La récolte, qui s'étend sur plusieurs mois doit être faite au moment où la canne présente la plus grande quantité de sucre et demande une organisation logistique importante ; en effet, une fois coupée, la canne doit être usinée dans les 24h-48h pour préserver un bon taux d'extraction du sucre. La coupe se fait encore principalement à la main, mais du fait de l'augmentation de coût de la main d'œuvre, la mécanisation tend à se développer.

La canne joue un rôle environnemental majeur. Elle permet le maintien de l'écosystème, la conservation des sols, le recyclage de déchets organiques tels que les effluents d'élevage, tout en participant au développement rural, à la gestion des ressources foncières et des ressources en eau. Elle est peu polluante car nécessite peu de pesticides et produit des quantités importantes d'énergie verte.

3. La production de canne à Maurice, La Réunion et Guadeloupe

Dans ces trois îles, la canne à sucre joue un rôle économique et environnemental majeurs. De ce fait les interventions publiques (Etat, UE et collectivités locales) en faveur des agriculteurs sont importantes. Dans les DOM, l'Etat apporte un complément de revenu par tonne de canne (aide économique) tandis que l'UE compense des handicaps naturels ou des conditions défavorables de production (Indemnité Compensatrice des Handicaps Naturels, aide au transport des canne du champ à la plate-forme de livraison, aide à la replantation). A titre d'exemple, le montant de l'aide à la replantation à la Réunion s'élève à 1500 Euros par hectare. A Maurice, les pertes de production sont indemnisées en cas de calamité agricole (cyclone, sécheresse ...).

Actuellement, dans les DOM et à Maurice, la filière canne doit faire face à différents problèmes que l'on retrouve dans d'autres régions du monde :

- Nouvelle politique mondiale : seulement 30% de la production mondiale de sucre est vendue au cours mondial. A Maurice, à la Réunion et en Guadeloupe, le prix de la canne est protégé (UE et protocole ACP) mais avec l'ouverture des marchés, ces îles ne pourront pas concurrencer les prix Brésiliens, principal producteur mondial.
- Coût de la main d'œuvre : En raison d'un fort relief à la Réunion et de la forte pierrosité de la terre à Maurice, la mécanisation est difficile. La récolte est majoritairement manuelle et demande beaucoup de main d'œuvre. Or, de moins en moins de personnes veulent réaliser ce travail difficile et des efforts d'aménagement pour permettre l'utilisation de la mécanisation se développent.
- Organisation de la filière : En Guadeloupe, la filière est confrontée à des problèmes d'organisation (organisation de la récolte, augmentation de l'irrigation, répartition des équipements et des services sur le territoire ...).

3.1. La production à Maurice

3.1.a. Quelques chiffres

La culture de la canne à Maurice représente 80% de la production agricole de l'île. Elle occupe 40% de la surface totale et 92% de la SAU (76 000 ha, dont 20 000 ha irrigués). Plus de la moitié de la surface en canne est détenue par quelques grandes sociétés sucrières (55% de la surface, Figure 2), 15% des surfaces appartiennent à de gros planteurs (plantation de 40 ha) et 30% sont détenus par des petits planteurs (26 000 ha pour environ 30 000 petits planteurs).

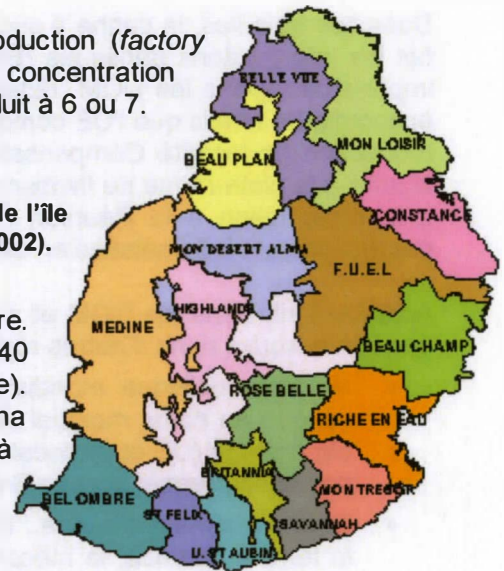


Figure 2 : Préparation du sol à la plantation de Médiine à Maurice, 2002 [Photo A. Bégué].

Le territoire national est découpé en 17 bassins de production (*factory areas*, Figure 3) et 12 sucreries. La tendance étant à la concentration des activités, le nombre d'usines d'ici 5 ans devrait être réduit à 6 ou 7.

Figure 3 : Les bassins de production cannière de l'île Maurice (MSIRI, 2002).

La coupe de la canne s'étale sur 6 mois de juin à décembre. En 2002, la production de sucre de l'île a été estimée à 540 000 tonnes (source : la Chambre d'Agriculture de Maurice). Cette production, sévèrement touchée par le cyclone Dina en janvier 2002, est de plus de 100 000 tonnes inférieure à la production de 2001 (646 000 tonnes).



3.1.b. Les difficultés et les objectifs

En raison des nouvelles orientations de la politique mondiale, l'industrie sucrière de Maurice est soumise à une contrainte importante qui est de baisser le prix de revient. Le sucre produit à Maurice est actuellement vendu au prix européen donc 2 à 3 fois plus cher que sur le marché international (Protocole ACP).

Pour y parvenir, trois grandes mesures ont été prises :

- Réduction de la main d'œuvre : 8000 départs à la retraite en décembre 2001 avec primes à l'incitation au départ. A titre d'exemple, la grande plantation de Médine a vu son personnel diminuer de 1800 à 1000 employés fin 2001, pour un objectif à 5 ans de 160 employés (passage de 41 000 à 16 000 au niveau national).
- Développement de la mécanisation. L'objectif est d'atteindre 50 000 ha mécanisables en 2005. Pour cela, la filière a lancé de grands travaux d'épierreage (Figure 4) ; 70% de la surface en canne est de nature rocheuse, 20% en terre franche, ce qui nécessite des travaux importants d'épierreage et d'aménagement du parcellaire. Mais les travaux d'épierreage semblent affecter la qualité des sols. La mécanisation va contribuer à la diminution des coûts de production, grâce (1) à la diminution des coûts d'intervention par rapport aux travaux manuels et (2) par l'évolution des techniques culturales (par exemple la diminution de l'utilisation des herbicides).
- Diversification des productions agricoles (pomme de terre, ananas..) et diminution des surfaces cultivées en canne. Jusqu'à présent, la vente de parcelles cannières était taxée. Cette taxe est supprimée. Les sociétés sucrières peuvent vendre jusqu'à 800 ha de terre à canne. Le départ à la retraite réclame des fonds, les sociétés vendent leurs terres à des immobiliers pour financer les retraites. Ces ventes de terre se font davantage selon des critères politiques et socio-économiques que des critères agronomiques.



Figure 4 : Importants travaux de dépierrage des parcelles (haut) et récolte mécanique à la coupeuse-tronçonneuse (bas) menés à la plantation de Médine à Maurice, 2002 [Photo A. Bégué].

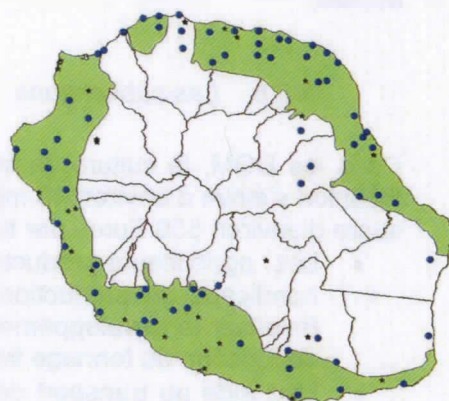
3.2. La production à la Réunion

3.2.a. Quelques chiffres

A La Réunion, la canne à sucre reste le pivot de l'agriculture. Avec ses 26 000 ha, elle occupe près de 10% de la surface totale de l'île et 60% de sa SAU (Figure 5). Elle produit 200 000 tonnes de sucre (75 % de la production de sucre de canne en France) dont 10% seulement sont consommés sur place. Elle assure le revenu de 5 000 producteurs de canne et représente 80% des exportations de la Réunion. Elle génère 12 000 emplois directs et indirects. La production de sucre à la Réunion dispose d'un quota de 295 000 tonnes de sucre garanti par l'Union Européenne à un prix fixe.

Figure 5 : En vert, la zone cannière de l'île de La Réunion (Martiné, 2002).

Deux usines sucrières, l'usine de Bois Rouge (du groupe Sucrerie de Bois Rouge², SBR) dans le Nord Est et l'usine du Gol (Sucrière de la Réunion SR) dans le Sud Ouest (appartient au groupe Quartier français³, QF), se partagent la production de sucre réunionnais.



La coupe de la canne s'effectue à la Réunion de juin à décembre (Figure 6). Les cannes sont transportées vers les 14 centres de réception ou balances (5 appartiennent à SBR et 9 à SR) puis acheminées vers les deux usines par les cachalots (camions). Au centre de réception, les cannes sont pesées par les industriels puis échantillonnées

² <http://www.bois-rouge.fr/>

³ <http://www.gqf.com/fgqf.htm>

(Figure 7) et analysées par le CTICS (Centre Technique Interprofessionnel de la Canne et du Sucre). Ces opérations permettent de déterminer le poids et la richesse en sucre, deux critères qui rentrent en compte lors du paiement des producteurs de canne. La bagasse, brûlée dans des centrales thermiques, fournit l'énergie pour la fabrication du sucre mais assure aussi 22% des besoins électriques de l'île.



Figure 6 : Paysage de canne à la Réunion pendant la période de récolte [Photo A. Bégué].

En 2001, le tonnage de la campagne sucrière est décevante, 1.8 million de tonnes de canne, mais la richesse en sucre de 14 % est bonne. La fin de la campagne a été affectée par la sécheresse, surtout dans le Sud où les conditions climatiques ont perturbé la production. Cependant grâce aux nouveaux périmètres irrigués de l'Ouest, ce sont 25 000 tonnes de plus qui ont été produites.

Ces nouveaux périmètres irrigués ont vu le jour grâce au projet de transfert des eaux d'Est en Ouest qui consiste en un captage et un transfert d'eau à partir des rivières et des cirques de Mafate et de Salazie vers la « côte sous le vent » qui présente un déficit de pluie. Initié en 1984, la première phase des travaux (captage de Mafate) est aujourd'hui terminée. La mise en place d'un réseau d'irrigation au niveau de l'Antenne 4 a débuté en 1999. Le volume de canne de cette zone est appelé à s'accroître du fait de l'augmentation des surfaces et des rendements (du simple au double).

3.2.b. Les subventions

Dans les DOM, la culture de la canne est fortement soutenue. Le montant total des aides à la Réunion s'élève à environ 40 millions d'Euros par an, soit 1500 Euros par hectare. Pour un prix du sucre d'environ 550 Euros par tonne, chaque hectare rapporte à la filière environ 6000 Euros.

- Les agriculteurs-producteurs bénéficient d'une aide économique pour compenser les handicaps de production et les agriculteurs bénéficient d'une aide à la production pour favoriser le développement des petites et moyennes exploitations. Ces aides sont versées en fonction du tonnage livré.
- Une aide au transport des cannes du champ à la plateforme de réception est attribuée à chaque livreur de canne en fonction du tonnage produit et de ses difficultés de transport (éloignement des parcelles par rapport au centre de livraison, qualité de la voirie desservant l'exploitation).
- L'Indemnité Compensatoire de Handicaps Naturels Canne (I.C.H.N. Canne) est attribuée à tous les planteurs dont l'exploitation a au moins 80% de SAU (2 ha au minimum) dont 0.5 ha minimum de culture primable (canne, géranium, vétiver, banane, vanille, curcuma).
- Une détaxe gasoil par tonne de canne livrée à la balance.

- Une détaxe sur les carburants par tonne livrée à la balance (non cumulable avec la détaxe gasoil).
- Des aides à la production et à l'écoulement du sucre. Ces aides concernent les sucres exportés et sont attribuées aux industriels. Elles sont calculées sur les tonnages exportés.

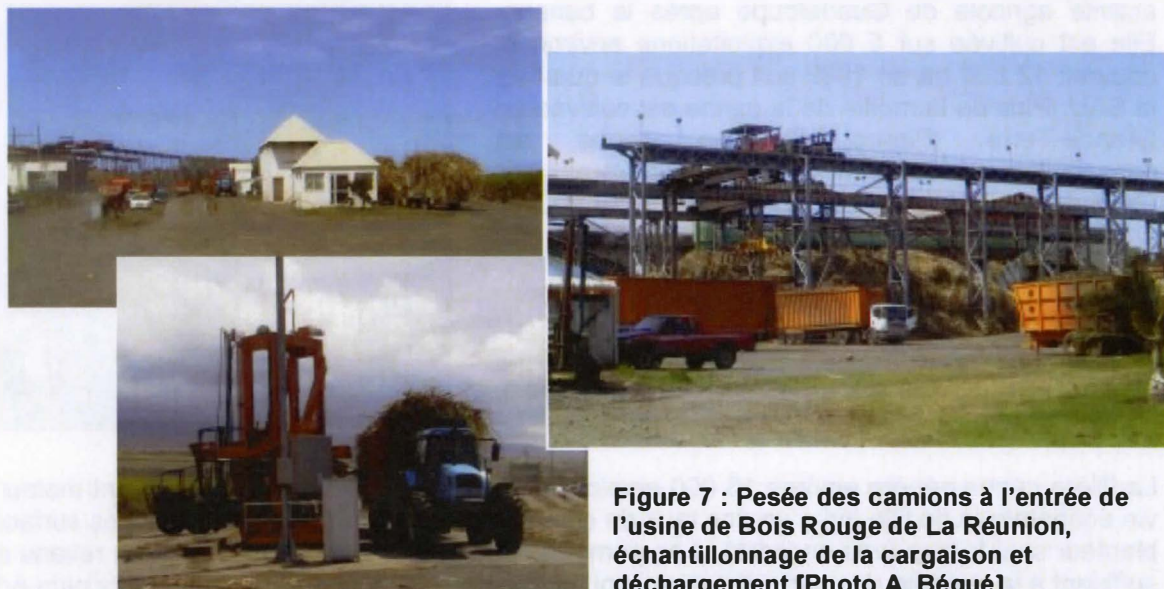


Figure 7 : Pesée des camions à l'entrée de l'usine de Bois Rouge de La Réunion, échantillonnage de la cargaison et déchargement [Photo A. Bégué].

3.2.c. Les difficultés et les objectifs

La pression de l'urbanisation fait disparaître des plantations de canne à sucre par des aménagements programmés, comme la construction de la Route des Tamarins (doublement de la route du littoral par une liaison 4 voies de 35km) ou des aménagements sauvages (construction d'habitations sur les parcelles de canne).

Aujourd'hui, l'objectif est de préserver la sole cannière et de reconquérir de nouvelles terres pour atteindre un seuil de production en 2010 de 250 000 t de sucre sur 30 000 ha, seuil qui, d'après les experts, permettra le maintien de la filière (entre 250 000 et 300 000 tonnes selon les sources).

Pour y parvenir, des solutions existent :

- Augmenter la surface des terres à canne par la réhabilitation de zones en friche ou abandonnées ; aide à l'installation de jeunes agriculteurs et protection des terres agricoles existantes.
- Irriguer pour produire plus : Le projet en cours de basculement des eaux d'Est en Ouest permet l'irrigation de terres sèches du littoral Ouest (antenne I à VIII, 5 500 ha).
- Améliorer le rendement (gestion de l'eau, lutte contre ravageurs, amélioration des taux d'extraction, fertilisation des terres, nouvelles variétés et organisation de la récolte).

La filière canne de la Réunion doit faire face aux mêmes problèmes qu'à Maurice :

- En raison du risque de l'ouverture du marché, les coûts de production doivent être réduits.
- La main d'œuvre à la Réunion est chère ou inexistante. Le relief impose une récolte le plus souvent manuelle mais de moins en moins de personnes veulent effectuer ce travail.

3.3. La production en Guadeloupe

3.3.a. Quelques chiffres

La culture de canne à sucre représente la deuxième activité agricole de Guadeloupe après la banane. Elle est cultivée sur 5 000 exploitations environ et couvrait 12 800 ha en 1999 soit presque le quart de la SAU. Plus de la moitié de la canne est cultivée en Grande-Terre (Figure 8). La canne est essentiellement transformée en sucre roux, brut (96% de la production), le reste étant utilisé pour la production de rhum agricole (3.5%) et industriel.

Figure 8 : Carte de la sole cannière en Guadeloupe (Lainé, 2001).



La filière canne génère environ 15 000 emplois en Guadeloupe et reste un important moteur de la vie économique de l'île qui a un des taux de chômage les plus élevés de France. Les surfaces par planteur sont faibles (voir encadré) et ne permettent généralement pas d'assurer un revenu annuel suffisant à la majorité des agriculteurs qui ont alors recours à la diversification ou à la pluri-activité.

La coupe de la canne s'effectue en Guadeloupe entre février et juin, sur une période de 4 mois en moyenne. La coupe est mécanisée à 80% et est prise en charge, comme la plupart des travaux agricoles - plantation, fertilisation, coupe ... - par les CUMAs⁴ et les ETAs⁵. Contrairement à la Réunion, en Guadeloupe les planteurs interviennent peu dans la gestion culturale de leurs parcelles.

La production était à son apogée dans les années soixante où 16 usines étaient encore en service, puis a décliné régulièrement jusqu'au plan de relance Mauroy en 1983, qui s'est traduit par un ensemble de réformes foncières et par la restructuration de la filière (création des SICA⁶ et des CUMA). En Guadeloupe continentale (Grande-Terre et Basse-Terre), une seule usine reste ouverte, l'usine de Gardel. L'île de Marie-Galante a sa propre usine.

Quatre grandes catégories de planteurs en Guadeloupe (ODEADUM, 2002) :

- une dizaine d'anciennes propriétés en Faire Valoir Direct ou grands propriétaires représentant globalement 3600 ha ;
- 300 planteurs professionnels sur des exploitations de taille moyenne entre 10 et 30 ha (moyenne 18 ha) ;
- 700 planteurs professionnels de petite taille sur des exploitations de 2 à 10 ha (moyenne 5 ha) ;
- 4000 planteurs pluri-actifs exploitant en moyenne 0,5 ha de cannes à sucre.

Au-delà de cette typologie, le métier de cultivateur est à distinguer de celui de récoltant et surtout celui du transporteur agricole.

⁴ Coopérative d'Utilisation de Matériel Agricole

⁵ Entreprise de Travaux Agricoles

⁶ Société d'Intérêt Collectif Agricole

La campagne sucrière 2002 a été rythmée par de nombreuses difficultés. Un retard de démarrage (22 mars), consécutif à de nombreuses négociations salariales, et des débuts pluvieux causant une augmentation du volume de cannes usinables (660 000 t - contre une moyenne de 580 000 t les 10 dernières années - dont 454 000 t traitées par l'usine de Gardel) et entraînant une chute sans précédent des richesses saccharines (8% - contre une moyenne de 9.3% - ce qui est la plus faible richesse moyenne enregistrée ces dix dernières années). D'après le Comité Technique de Suivi de Récolte (CTSR, 2002), 50 000 t de cannes usinables n'ont pas été récoltées.

3.3.b. Les difficultés et les objectifs

Le principal défi lancé à la canne guadeloupéenne est l'augmentation de la production ; en effet, avec un rendement moyen de l'ordre de 45 t/ha (9,3% de richesse saccharine), contre 70 t/ha (13.8%) à la Réunion et 85 t/ha à Maurice, la production cannière en Guadeloupe n'est pas très compétitive. La principale raison est climatique, liée au manque d'eau. L'augmentation des capacités d'irrigation de l'île reste d'actualité.

La deuxième difficulté que rencontre la filière est liée à l'organisation de la récolte ; il faut pouvoir améliorer la gestion des quotas de coupe, ce qui passe par une meilleure prévision des rendements. De plus, à l'heure actuelle le calendrier de coupe ne se fait pas selon la richesse en sucre des parcelles, mais plutôt selon un critère logistique.

Enfin, les performances techniques des unités sucrières de Guadeloupe ne sont pas à leur optimum et ne facilitent pas la gestion des quotas à l'échelle des bassins et des opérateurs de récolte.

ANALYSE DE L'EXISTANT

4. Maurice

4.1. Le MSIRI

The Mauritius Sugar Industry Research Institute⁷, dont l'objectif fixé par l'Etat est d'assurer le progrès technique et d'améliorer l'efficacité de l'industrie sucrière au moyen de la recherche et du développement, est financé par les taxes de l'industrie sucrière.

Le département « Land Resources » du MSIRI est chargé de l'inventaire et de la cartographie des ressources en sol. Ses principaux projets sont :

- Un projet expérimental « **Agriculture de précision** ». En 2001, le MSIRI s'est doté d'un capteur de rendement développé par les Australiens, équipé d'un GPS non différentiel et installé sur une coupeuse, et d'un capteur de conductivité électromagnétique. Le capteur de rendement fait une mesure du poids frais de la canne toutes les 3 secondes (soit tous les 3 mètres environ). Les données collectées permettent la cartographie de la variabilité du sol et du rendement des parcelles récoltées agrégé à un pas de 10m par 10m. En 2001, une douzaine de parcelles ont ainsi été cartographiées. Cependant le capteur de rendement mesure le poids frais et donc les valeurs obtenues dépendent fortement de la date de coupe (dessèchement de la plante). Il faut évaluer également la perte en biomasse due à l'éfétage et à la paille qui reste au champ.

Une des utilisations opérationnelles attendues du capteur de rendement est la cartographie des LAMUs (Land Area Management Unit, cf. ci-après) afin de rétribuer les planteurs proportionnellement au rendement de leur parcelles.

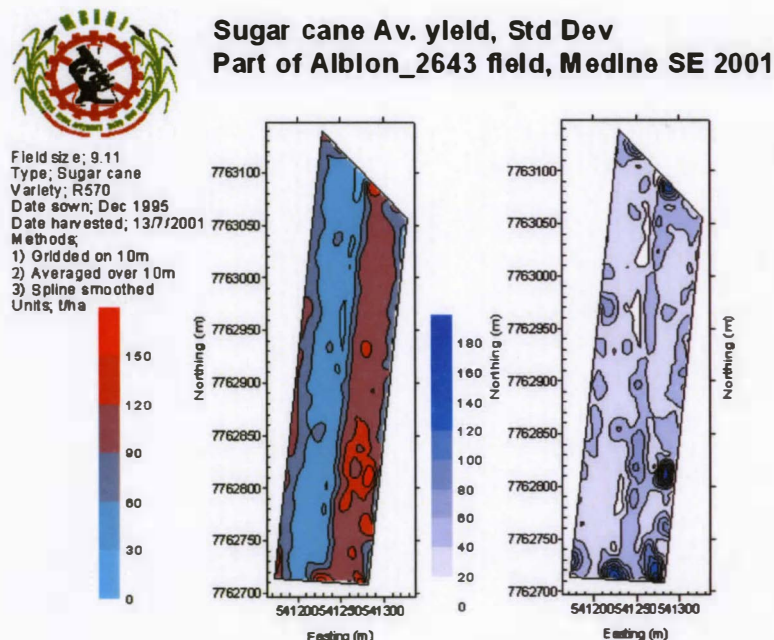


Figure 9 : Exemple de carte de rendement (I. Jhoty, MSIRI 2001).

⁷ <http://webmsiri.intnet.mu/>

- Le **GISCANE** (Système d'Information Géographique pour la gestion de la canne à sucre) : ce système regroupe une base de données agronomiques, le Land Index Database, qui contient des données sur chaque parcelle de canne, les caractéristiques du sol, du climat, de la culture (type de sol, pente, précipitations, type d'irrigation, variété, rendement etc ...) avec une base de données parcellaire, le Digital Cartographic Database (en cours de réalisation). Le SIG est sous Mapinfo. Les principaux produits sont :
 - Carte des sols
 - Carte agro-climatique
 - Carte de l'occupation du sol
 - Carte d'aptitude des sols à l'agriculture
 - Carte des pentes
 - Carte d'aptitude à la mécanisation en fonction des zones de livraison.

Cependant, la réalisation de ces produits pose des problèmes de cohérence. Par exemple, pour la carte d'aptitude à la mécanisation, le MNT est incomplet, la carte d'occupation des sols n'est pas à jour, la superficie exacte sous canne n'est pas connue et le parcellaire des usiniers-plantateurs au 1/25 000 ne correspond pas à la cartographie au 1/100 000. S'il est possible d'extrapoler à partir des données des usiniers-plantateurs, il n'existe aucune donnée sur les petits exploitants.

Les données agronomiques et parcellaires sont fournies au MSIRI par les propriétaires des grandes plantations et les usiniers. Il n'y a pas de données sur les petits exploitants.

- **LAMU** (Land Area Management Units): Les petits exploitants (taille moyenne inférieure à 10 ha) exploitent 30% de la surface cultivée en canne et produisent 27 % de la production totale de sucre. Sur 31 000 petits exploitants, 57 % ont des parcelles inférieures ou égales à 0.5 ha. Ces petites parcelles sont difficilement mécanisables et ont une faible productivité qui s'explique en grande partie par le faible engagement de la plupart des producteurs (production « argent de poche »). Pour aider ces petits exploitants, le MSIRI a initié le concept de LAMU, qui vise à créer des blocs composés de petites parcelles contiguës qui ont en commun une période précise de plantation et une variété commune. Grâce à ces regroupements, les exploitants ont accès au machinisme agricole, à un matériel de plantation sain (pépinières), à un encadrement technique soutenu et ont une approche commune de la conduite des pratiques culturales. Les effets attendus sont l'amélioration de la productivité, la réduction des coûts et l'augmentation des revenus. Aujourd'hui on compte 130 LAMUs couvrant environ 2 500 ha et regroupant plus de 4 000 planteurs, soit 20% des petits exploitants canniens. Le rendement de la canne au sein du LAMU est de 88 t/ha contre 74 t/ha hors LAMU. Mais l'évolution est lente.

4.2. La plantation de Médine

Il y a 12 usines à Maurice. Une des principales est l'usine du bassin cannier de Médine (Annexe 4), sur lequel se trouve la plantation de Médine qui représente 75% du volume de canne traité par l'usine locale. Cette plantation de 4 421 ha irrigués sur une surface totale de 4 724 ha, fortement mécanisée (40% de la surface), est divisée en 6 sections. Elle possède sa propre cellule de SIG qui produit essentiellement des documents cartographiques. Ces cartes sont utilisées par la moitié des chefs de section (les autres chefs n'en voyant pas l'utilité). Cette réalité se répète dans les autres grandes plantations de Maurice.

Si l'information géographique est encore peu utilisée, les bases de données agronomiques sont quant à elles très riches (importante main d'œuvre pour la collecte des données). La plantation travaille de manière très rapprochée avec le MSIRI et une grande partie des données détenues par le MSIRI proviennent de la plantation de Médine.

Les données existantes à Médine :

- **Bases de données parcellaire :**

- Le premier parcellaire, réalisé en 1983 à partir de cartes au 1/2 500, puis modifié par des relevés sur le terrain (géomètres), n'est pas mis à jour régulièrement. Il y a quatre cartes du parcellaire qui correspondent globalement à des modifications importantes du parcellaire de la plantation (1994, 1996, 1999 réalisé à partir des relevés d'un professionnel sur le terrain et 2001/2002 qui est le plus précis).
- Sous Mapinfo, 4 années de parcellaire (1999-2002). La diminution du nombre de parcelles (1096 en 1999 et 875 en 2002) est concordante avec le nombre de la base de données agronomiques. Les données associées reprennent certaines informations de la base de données agronomiques mais de façon incomplète.

- **Base de données agronomiques :**

- Les données du livre de culture (1983-2002) sont sous Excel. Avant 1998, il y a beaucoup d'incohérence dans ces données. La parcelle a un identifiant qui le relie à la base de données parcellaire.
- Une autre base de données, sous Excel, est le livre de la culture mécanisée (1997-2002) qui contient les informations sur 150 parcelles en 1997 et sur 182 parcelles en 2002. Les parcelles traitées ont le même identifiant que dans le livre de culture 1983-2002. Certaines informations sont identiques (surface, variété...), d'autres sont nouvelles (surface récolte mécanique/manuelle...). Les informations renseignées d'une année sur l'autre ne sont pas toujours homogènes.

- **Données sur les sols.** Deux cartes numérisées existent. La carte des sols de Wilhaim de 1983 qui est très détaillée et une carte de 1962, au 1/100 000, avec 3 types de sol qui est utilisée. Ces deux informations sont associées au parcellaire.
- **Les données météorologiques** existent mais sont stockées au niveau des sections de la plantation. Il en est de même pour les données sur l'irrigation.

Les données de Médine sont transmises au MSIRI, aux fonds d'assurance et sûrement à d'autres structures administratives de la filière sur lesquelles il est difficile d'avoir des informations.

La prévision de rendement : La plantation de Médine est très performante en matière de prévision de rendement et affiche une précision de l'ordre de 2-3% sur l'ensemble de la plantation, ce qui est à comparer à la précision de 50% obtenue sur les productions des petits planteurs. Les prévisions se font au niveau des sections par des hommes de terrain qui connaissent parfaitement les parcelles (connaissance de l'historique de la parcelle et expertise de terrain) et qui se basent sur des mesures de suivi de croissance de la canne. Les prévisions se font à 3 périodes : décembre, fin mars et fin mai au début de la récolte. Les valeurs ne sont pas spatialisées mais globales.

4.3. Le SIFB

Le Sugar Insurance Fund Board (SIFB), le Fonds d'Assurance Agricole de l'Industrie Sucrière, aide les producteurs sucriers à faire face aux pertes subies par les cyclones, la sécheresse, les précipitations, le feu, les maladies ou les ravageurs. L'assurance est obligatoire pour tous les producteurs et usiniers. Le calcul de la compensation dépend de la production sucrière finale, du prix moyen du sucre, de la « classe » de chaque assuré, de la totalité du sucre assurable (Annexe 5).

Pour ces calculs, le SIFB s'appuie sur des données qui lui sont directement transmises par les producteurs et usiniers. Aucune information n'a pu être obtenue sur les données gérées par le SIFB. Il semble très faiblement informatisé.

4.4. Les besoins exprimés à Maurice

Peu de besoins en terme de produits spatiaux ont été exprimés explicitement. Les principaux intervenants de la filière canne de l'île (le MSIRI mis à part) n'ont pas une culture « géomatique » très développée et ont une position de type *wait and see* vis-à-vis des SIG et de la télédétection. Cependant, l'analyse de l'existant montre qu'il y a aujourd'hui encore d'importantes lacunes en matière de collecte et de mise à jour d'information sur la canne qui pourraient être comblées en partie par la télédétection.

- **Les besoins d'aujourd'hui**

Le premier besoin (MSIRI, Médine, SIFB) est la cartographie du parcellaire à l'échelle des bassins de production et à l'échelle du pays. Création pour le petit parcellaire (même si le MSIRI a commencé ce travail depuis des années) et mise à jour annuelle pour les grandes plantations.

Le deuxième besoin est la caractérisation de l'itinéraire technique. Cette information est particulièrement importante pour le SIFB pour estimer la part de responsabilité du planteur dans des situations de demande d'indemnisation.

- **Les besoins à venir :**

Chez les usiniers-planteurs (Médine), les besoins tels que le suivi de la récolte et du développement de la canne n'apparaissent pas aujourd'hui comme prioritaires. La main d'œuvre et l'expertise existent sur place. Cependant, dans un futur proche (d'ici 5 ans), en raison de la très forte réduction de la main d'œuvre, des départs à la retraite des experts et de l'augmentation de la taille des parcelles (plusieurs dizaines d'hectares), de nouvelles sources d'information devront être développées pour le suivi de la croissance de la canne et les prévisions de rendement. La télédétection pourrait jouer ici un rôle fondamental.

5. La Réunion

5.1. Les principaux acteurs de la filière

5.1.a. Le Comité de Pilotage de la Canne

Le Comité de Pilotage de la Canne a pour objectif d'élaborer des stratégies pour le développement de la culture de la canne à la Réunion. Ce comité regroupe :

- les professionnels (Industriels : SFS, et les planteurs : Chambre d'Agriculture),
- le conseil Général,
- la DAF, chargée de l'application de la politique agricole départementale,
- les organismes techniques,
- les organismes de recherche, le CERF et le CIRAD,
- le CTICS qui procède à l'analyse de la richesse des cannes livrées aux usines,
- la SAFER, la SAPHIR, la SICA Sudcanne,

5.1.b. La Chambre d'Agriculture

La Chambre d'Agriculture est chargée de l'encadrement technique. La Cellule « Canne-Développement Local » a constitué sur l'ensemble de la sole cannière un réseau de « Groupes Progrès » rassemblant des agriculteurs de petites régions agricoles, aux caractéristiques

agronomiques et climatiques identiques. Cette synergie entre d'une part, un encadrement technique très présent et les agriculteurs, et d'autre part, les agriculteurs entre eux, vise à favoriser :

- l'accroissement des gains de productivité et le rendement à l'hectare,
- la diffusion des résultats de l'expérimentation et leur adaptation technique particulière à chaque groupe ou région,
- l'orientation des travaux de recherche en adéquation avec les besoins exprimés sur le terrain,
- l'obtention d'un référentiel technico-économique fiable « Canne référence ».

5.1.c. *Le CTICS*

Le CTICS, Centre Technique Interprofessionnel de la Canne et du Sucre, aide aux transferts de technologies vers les planteurs et d'autres organismes d'encadrement technique : diffusion de nouvelles variétés, de nouvelles techniques culturales, nouveaux produits herbicides, ou différentes façons de cultiver la canne. Le CTICS a un rôle important de contrôle de qualité et de prévision de rendements.

Mais le travail essentiel du CTICS consiste à déterminer la richesse des cannes livrées aux usines. La qualité et la richesse de la canne sont analysées dans les centres de transfert par le CTICS (qui représente à la fois les planteurs et les usiniers) à partir de prélèvements effectués sur les chargements. Le planteur est payé en fonction de la richesse et de la qualité de sa canne. Pour les prévisions de rendements, le CTICS s'appuie sur un réseau de parcelles de prélèvements qui sont comparées avec les estimations ou indicateurs de tendance, résultat du modèle de croissance MOSICAS (Martiné, 1999), qui lui sont transmis début juin (Annexe 2).

5.1.d. *Direction de l'Agriculture et de la Forêt (DAF)*

La DAF est chargée de la mise en application de la politique agricole départementale en relation avec les politiques agricoles nationale et européenne. A partir de 2005, une réglementation européenne imposera une déclaration de surface graphique en remplacement du cadastre. La DAF a anticipé sur cette décision pour mettre en place un SIG parcellaire couplé au système de gestion de leurs bases de données.

Le logiciel PACAGE a été conçu pour gérer les aides de la PAC. Ce logiciel est verrouillé mais permet le reversement d'information (numéro de l'utilisateur, informations sur l'utilisateur) dans le système d'information (ARCHE) qui regroupe l'ensemble des bases de données de la Direction. La DAF gère aussi deux bases de données géographiques pour l'attribution des aides (aides aux améliorations foncières et aux replantations). Ces bases posent des problèmes de cohérence : double numérotation de la parcelle et inadaptation du plan cadastral pour la délimitation de parcelles agronomique.

La nouvelle convention canne 2001-2006, signée entre les planteurs et l'Etat, étend les aides « surfaces » (Indemnités Compensatoires de Handicaps Naturels) à tous les planteurs (4/5 des exploitants et plus de la moitié de la sole agricole de l'île vont devoir réaliser pour la première fois une déclaration de surface).

5.1.e. *Les usiniers*

Les usines (Bois Rouge et Le Gol) fonctionnent 24h sur 24h pendant la période de récolte qui s'étend sur plusieurs mois. Pour des raisons de conservation de la canne, elles fonctionnent à flux tendus et leur gestion hebdomadaire nécessite des informations précises en temps quasi-réel sur la quantité de canne à traiter. Le plan de coupe sur l'ensemble du bassin cannier est défini selon un compte à rebours à partir de la capacité de l'usine et des prévisions de production. Actuellement, la production du bassin cannier d'approvisionnement est estimée à partir d'un système essentiellement déclaratif.

La Sucrière de la Réunion fait partie du Groupe Quartier Français. Cette société qui a racheté le Groupe Bourbon (mars 2001) est aujourd'hui le premier sucrier de La Réunion avec 70% de la production locale. Sur le plan international, il vient de s'associer avec le groupe mauricien « Deep River-Beau Champ » pour la reprise d'une sucrerie en Tanzanie. L'activité sucre de la société réunionnaise est actuellement détenue à hauteur de 36% par Eridania Béghin-Say, numéro un français du secteur.

5.1.f. Le CIRAD

Le Cirad est fortement impliqué dans la filière canne. Quatre équipes participent aux programmes suivants : étude du génome, protection de la plante, agronomie et modélisation, appui aux acteurs et organisation de la récolte.

En termes de modélisation de la canne, le CIRAD a développé les outils suivants :

- **MOSICAS** (Martiné et al., 1999) est un modèle de production de la canne. C'est un modèle radiatif à pas de temps journalier faisant intervenir les trois principaux processus physiologiques de la croissance : interception du rayonnement utile incident à partir du LAI et calcul du rayonnement utile intercepté, conversion de ce dernier en biomasse aérienne, partition de cette dernière en ses différentes composantes. La croissance et sénescence du LAI sont modélisées en fonction de la température et d'un coefficient de stress hydrique fourni par le modèle de bilan hydrique.
- **Simulex3** est une plate-forme de modélisation, basée sur le modèle de croissance MOSICAS, qui permet de :
 - Gérer des données structurées dans un ensemble de bases de données de type relationnel.
 - Créer des modèles personnalisés à l'aide de modules prédéfinis (module de croissance, module de bilan hydrique).
 - Effectuer différents types de simulation sur des cycles de cultures (ou traitements).
 - Visualiser les résultats de ces simulations dans un seul fichier texte sous forme de table pouvant être repris par tout tableur ou grapheur.
 - Gérer les bases (outils de compactage).
 - Analyser la sensibilité du modèle à divers paramètres plantes, itinéraire technique, sol.
 - Ajuster certains paramètres des modèles (stress hydrique, stress azoté ou options d'irrigation).
 - Piloter la simulation à partir d'observations effectuées sur la plante (LAI, biomasse,...) et le sol (humidité).
- **MapCanne** est le logiciel de gestion de base de donnée et d'information géographique qui permet la création et la mise en forme de données destinées à être exportées vers Simulex. Les données de base de Mapcanne sont :
 - Des couches d'information (découpage de l'île en unité de sols, de relief, de zones cannières..) provenant en partie de la BD TOPO@ Réunion.
 - Les bases de données associées aux cartes,
 - La base de données météorologiques contenant les informations sur les stations et leurs données journalières.

A partir des cartes, Mapcanne recherche les stations météorologiques les plus proches de chaque unité de calcul. Les résultats sont formatés de manière à être directement exportables dans Simulex. Mapcanne alimente le simulateur de croissance en données parcellaires et météorologiques. Une fois la simulation exécutée dans Simulex, les résultats peuvent être importés dans Mapcanne afin d'être cartographiés et réutilisés ultérieurement.

5.1.g. *Autres acteurs*

- La SAFER : La Société d'Aménagement Foncier et d'Etablissement Rural s'occupe essentiellement de la réforme foncière et de la gestion et vente de terrains. La SAFER a un droit de préemption. Elle peut acheter des terrains pour l'agriculture. Elle s'occupe des GFA (Groupements Fonciers Agricoles) qui ont pour objet d'acquérir et de gérer un ensemble de terres agricoles et de les louer par bail à des exploitants. Ces terres ont une superficie moyenne de 5 ha.
- Le CERF : Le Centre d'Etudes de Recherche et de Formation. Ce centre travaille sur les variétés de canne à sucre. Résistance aux maladies, adaptabilité et richesse en sucre sont les critères de la variété R570 créé à la Réunion et cultivée aujourd'hui dans les 2/3 des plantations de l'île.
- Les SICAs et CUMAs sont des coopératives de prestations de services mais aussi d'approvisionnement (pour l'achat d'engrais ou d'herbicides).

5.2. Les projets « information géographique » existants

5.2.a. *La Base de Données TOPOgraphiques de la Réunion :*

La BD TOPO@ Réunion a été réalisée par l'IGN à partir d'une couverture aérienne au 1/30 000 en juillet 1997. Elle est constituée de :

- Une base de données topographiques comportant les thèmes suivants : réseau routier, réseau hydrographique, limites administratives, bâtiments et équipements divers, occupation du sol, orographie, toponymie, altimétrie etc. ...
- Un orthophotoplan numérique couleur, à la résolution de 1m. Il s'agit de mosaïquage des clichés de 1997 après numérisation à 30 microns, rectification des déformations dues au relief et harmonisation radiométrique.
- Un MNT au pas de 25 m et de précision métrique.

La couche « occupation du sol » n'est pas suffisamment précise d'après la DAF. Les surfaces en canne sont surévaluées (32 000 ha de canne délimités contre 26 000 ha réels) en raison de problème de limites, de ravines, de prise en compte des chemins. La mise à jour par l'IGN, prévue en 2003, est très attendue par les organismes de la Réunion.

5.2.b. *La BD parcellaire canne :*

La DAF et le CTICS développent ensemble un système permettant la localisation des surfaces plantées en canne. Ce système est demandé par l'ensemble des acteurs de la filière.

Au-delà de la préparation à la future réglementation européenne de déclaration de surface graphique (échéance 2005), le but de ce SIG parcellaire est :

- L'évaluation des systèmes de production,
- La connaissance et le suivi de l'occupation du sol, l'évaluation de la diminution du foncier agricole liée à la pression de l'urbanisation (300 000 habitants supplémentaires à accueillir d'ici 20 ans pour 1/3 de l'espace seulement aménageable sur l'île),
- La mise en œuvre et gestion des aides, signées entre les planteurs et l'Etat, notamment celles liées aux conditions d'exploitation (aptitude à la mécanisation, conditions de transport des cannes, déficit pluviométrique).

La méthode consiste à collecter les informations géoréférencées auprès de l'agriculteur. Celui-ci localise sur une carte au 1/5 000^{ème}, les contours des parcelles culturales de son exploitation. La numérisation a été faite à la souris sur les orthophotoplans de la BD TOPO@ 1997 (IGN).

A la parcelle, sont associées les caractéristiques suivantes :

- Informations de localisation : commune, lieu dit ..
- Surface
- Nature de la culture et mode de faire valoir (Propriétaire, fermage)
- Equipement (Irrigation)
- Mécanisation et/ou potentiel de mécanisation (Coupe, chargement, irrigation...)
- Zone de livraison

Cette base de données, mise à jour tous les ans (Avril/Mai) sera accessible dans les centres d'information du CTICS. Des cartes seront éditées annuellement.

Les produits dérivés du SIG et du MNT :

- Le centre de livraison et l'itinéraire de livraison de chaque parcelle
- La cartographie des parcelles en fonction de la pente, pour l'aptitude à la mécanisation ;
- L'âge, richesse et rendement croisés avec le parcellaire
- Les statistiques sur zone choisie (nombre d'exploitants, surface, rendements, richesses)
- Les conséquences de l'irrigation sur le rendement
- L'observation du foncier agricole.

D'autres produits dérivés :

- Le zonage pour l'attribution des primes de transport
- Le zonage pour les itinéraires d'accès.

L'opération d'enquêtes de terrain et de relevés DGPS sur le terrain débutée en janvier 2002 et la numérisation du parcellaire se sont terminées fin 2002. Le produit fini se présente sous la forme d'un fichier numérisé utilisable par la plupart des SIG de la Réunion.

Cette BD parcellaire, qui représente un très gros travail, souffre toutefois de deux limites de nature différente :

- La cartographie des îlots de canne (parcelles adjacentes non différenciées) et non pas des parcelles au sens « agronomique » du terme (homogénéité de l'itinéraire technique).
- Des imprécisions dans la mise-à-jour liées au mécanisme des subventions pour les replantations car ces subventions sont plafonnées à 20 ha (mais concerne peu de planteurs réunionnais) et ont un plancher de 0.25 ha (beaucoup de demandes sont de 0.25 ha).

5.3. Les besoins exprimés à la Réunion

Contrairement à l'île Maurice, La Réunion a une bonne culture et sensibilité en information géographique. Les SIG sont utilisés de façon courante chez les différentes partenaires de la filière et les orthophotoplans de la BD TOPO@ ont assuré la promotion de l'outil télédétection.

Les besoins exprimés sont donc plus clairs et précis qu'à Maurice :

- La mise à jour du parcellaire. Elle est actuellement réglementée au niveau européen et doit se faire à partir d'orthophotoplans. On peut cependant envisager d'utiliser des images satellitaires à résolution métrique pour le contrôle (*cross-checking*) des déclarations et pour la mise-à-jour de la base de données parcellaire, car elles constituent une source d'information indépendante et compatible avec la précision des produits. Dans le futur cette source satellitaire remplacera peut-être les produits photographiques dans la réglementation européenne.
- La prévision de rendement à différentes époques de l'année, qui est une demande récurrente de la part de la profession.
- Le suivi des coupes : les quotas attribués aux planteurs de l'île sont donnés en tonnages et non en surfaces. Les usiniers souhaitent suivre pendant la récolte la quantité de champs

récoltés pour mieux gérer l'ouverture de l'usine. Une évaluation en début de campagne, au premier et deuxième tiers semble suffisante.

- Une cartographie des dégâts dus aux cyclones.
- Le SIG comme outil d'aménagement avec une détection automatique de l'urbain et du bâti.

Un autre besoin, non exprimé mais sous-jacent, concerne le suivi de la maturité de la canne pour optimiser la récolte. Actuellement c'est un sujet d'étude au CIRAD qui est envisagé à partir de la modélisation de la croissance de la canne et qui pourrait être consolidé par des observations satellitaires.

6. La Guadeloupe

6.1. Les principaux acteurs de la filière

Les principaux organismes qui interviennent dans la filière sont identiques à ceux de la Réunion :

- Le CIRAD mène des travaux de recherche sur la sélection variétale, la production de vitro-plants et la modélisation de la production de la canne. Le CIRAD participe chaque année aux prévisions de rendement pour l'organisation de la récolte (Annexe 3).
- Le CTICS procède à l'analyse de la richesse des cannes à sucre et à des analyses pour le secteur rhumier. Il mène également des activités liées au transfert de technologie.
- Les SICAs cannières sont chargées de l'encadrement technique des planteurs, de leur approvisionnement en intrants, de la redistribution des aides publiques allouées aux producteurs, du suivi et de la mise à jour du fichier des planteurs géré par la DAF ; il en existe une dans chacun des bassins canniers de Guadeloupe : SICAGRA au sud de la Grande Terre, SICADEG au nord de la Grande Terre, UDCAG au nord de la Basse Terre et SICAMA à Marie-Galante.
- Les CUMAs, au nombre de 11, dont 2 à Marie-Galante, réalisent les travaux du sol, la récolte (coupe et transport), et quelquefois la plantation et les épandages d'engrais et d'herbicides ; ces travaux sont également assurés par des entreprises privées de travaux agricoles (ETA).
- La DAF a un rôle de gestion agricole (orientation des productions, organisation des jeunes agriculteurs ...) et de gestion et distribution des aides de l'Etat.
- La Chambre d'Agriculture, par son réseau d'experts et de mesures de terrain, participe chaque année aux prévisions de rendement.
- La sucrerie Gardel émet les quotas de coupe et paye les planteurs à la valeur du sucre.
- La SAFER, Société d'Aménagement Foncier et d'Etablissement Rural.

La majorité de ces acteurs se retrouvent autour de la récolte, qui est un moment-clé de la filière, notamment pour les prestataires qui fournissent la majeure partie des services (Figure 10). Les enjeux de la récolte sont multiples : approvisionnement régulier de l'usine, richesse saccharine maximale à l'arrivée à l'usine, achèvement de la récolte avant le commencement des pluies.

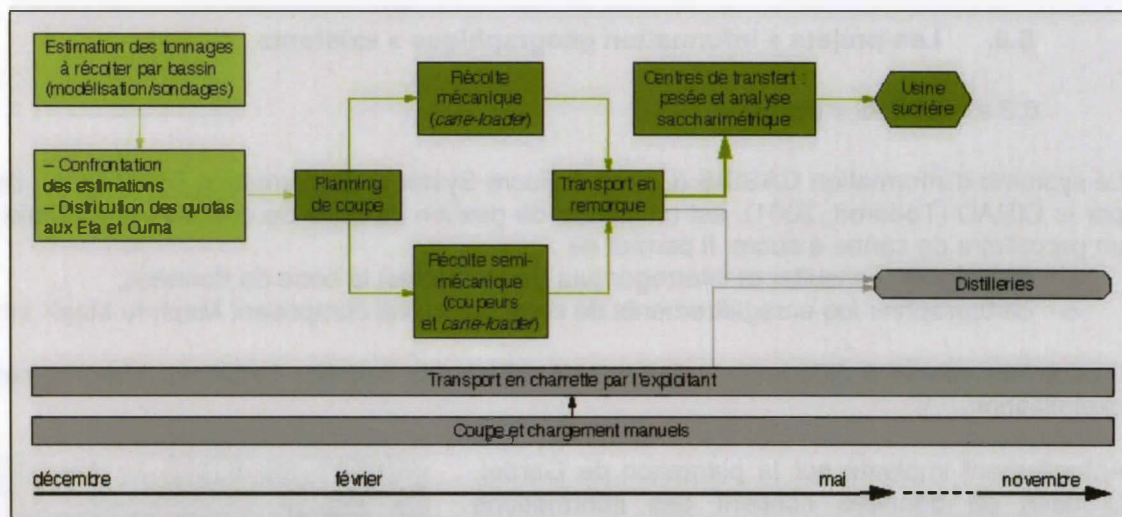


Figure 10 : Organisation et déroulement de la récolte de canne à sucre en Guadeloupe (Zébus et Diman, 2002).

6.2. La plantation de Gardel

L'exploitation de Gardel est une des plus grandes plantations de l'île avec 1000 ha de canne répartis sur les trois communes du sud Grande-Terre : Saint François, Sainte Anne et Le Moule. Les conditions agro-climatiques sont celles qui prévalent sur la majeure partie de la Grande-Terre : sols argileux gonflants (vertisols), très forte variabilité inter-annuelle de la pluviométrie, avec une saison sèche plus marquée de janvier à juin et une distribution spatiale très aléatoire. La plantation a mis en place 3 grands pivots (Figure 11).



Figure 11 : Parcelle irriguée avec pivot sur la plantation de Gardel en Guadeloupe, 2003 [Photo A. Bégué].

Légèrement supérieurs à la moyenne du secteur, les rendements en canne (55 t/ha en 2000) restent limités et en étroite corrélation avec la disponibilité en eau. Pour optimiser la récolte de la plantation, l'agronome responsable de la plantation a entrepris récemment, avant la coupe de la canne, de porter des échantillons au CTICS pour savoir si la parcelle a atteint son optimum de richesse.

Depuis avril 1999, l'usine de Gardel est couplée à une centrale bagasse-charbon et participe à l'approvisionnement énergétique de la Guadeloupe.

6.3. Les projets « information géographique » existants

6.3.a. Le SIG « canne »

Le système d'information **CASSIS** (Canne A Sucre Système d'Information Spatialisée), développé par le CIRAD (Todoroff, 2001), est un logiciel de gestion de base de données agronomiques pour un parcellaire de canne à sucre. Il permet de :

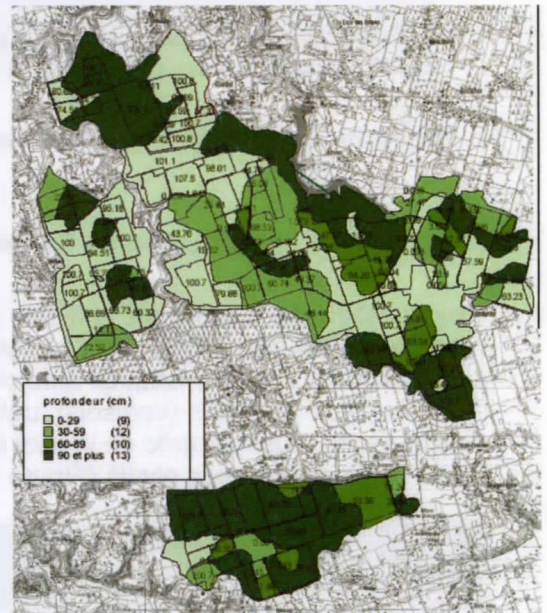
- renseigner, consulter et interroger (via des requêtes) la base de données,
- cartographier les enregistrements de cette base (via composant MapInfo MapX intégré).

Il peut être adapté à différentes cultures et à différentes échelles foncières (régions, périmètres, exploitations,...).

Actuellement implanté sur la plantation de Gardel, la base de données contient des informations sur l'exploitation, les parcelles, le sol (Figure 12), les itinéraires techniques et la culture.

Cette base est consultable parcelle par parcelle mais aussi à l'aide de requêtes qui peuvent porter sur les informations concernant l'exploitation, la parcelle, le sol l'itinéraire technique et la culture. On peut combiner jusqu'à trois critères de recherche en choisissant un opérateur (et, ou, ou bien). Les résultats peuvent être exportés dans un fichier texte. La fonction « cartographie » de ce logiciel lui permet d'afficher les cartes du parcellaire et présente les fonctions standards de représentation d'un SIG.

Figure 12 : Carte de la profondeur des sols de la plantation de Gardel (Remond, 2002).



6.3.b. Le projet AGRIGUA

Dans le cadre de la mise en œuvre des aides communautaires liées aux surfaces agricoles, la future réglementation européenne imposera en particulier à partir de 2005 une déclaration de surface graphique au lieu de la déclaration sur fond cadastral utilisée actuellement.

La Guadeloupe se prépare d'ores et déjà à cette réglementation en mettant en place le projet **AGRIGUA** (financement FEOGA + région), dont l'objectif est de mettre en place un réseau d'information montante et descendante qui permettra :

- La saisie par les groupements de proximité (SICA, associations foncières ..) des interventions réalisées par les exploitants sur les parcelles ou sur les voiries agricoles ;
- La transmission de ces données à une Structure Commune de Gestion et de contrôle (AGRIGUA) qui, sous la responsabilité de la DAF, coordonnera l'ensemble des opérations, les contrôlera, les validera, les intégrera à la base
- La restitution cartographique sur support numérique à l'ensemble des partenaires.

L'objectif poursuivi est de pouvoir procéder à cette actualisation en continu et d'en fournir la mise à jour graphique avec une fréquence mensuelle.

A cette fin, le projet AGRIGUA a initié en 2002-2003 une importante campagne de mise à jour du parcellaire agricole à partir de données cartographiques existantes (fruitiers en 2000, canne fin 99 et banane en 97 ; Lainé, CIRAD) et d'ortho-photoplans de la campagne aérienne au 1/20 000 réalisée début 2000, complétés à partir de relevés au GPS différentiel des contours de l'ensemble des parcelles de l'île. L'équipe de techniciens GPS assurera également le suivi des modifications parcellaires (fusion, divisions, replantations,.etc...) en temps quasi-réel.

6.4. Les besoins exprimés en Guadeloupe :

La plupart des besoins exprimés ci-après émanent des partenaires de la filière après présentation des images satellite sur les parcelles de Grande-Terre :

- En Guadeloupe, il y a énormément de parcelles très petites, notamment à Marie-Galante. Il faut que les produits soient adaptés non seulement aux exploitations de type GARDEL, mais aussi aux petits planteurs. Il est clair que certains produits seront adaptés à tout type de parcellaire (coupe, croissance) mais d'autre ne pourront être obtenus que sur des parcelles de taille assez grande (hétérogénéité intra-parcellaire).
- A Marie-Galante, les parcelles peuvent être imbriquées les unes dans les autres. Seule l'indication de la direction des sillons peut permettre de les cartographier séparément.
- Besoin de courbes de croissance de référence, de façon à émettre une alerte dès que la plantation s'éloigne de cette courbe.
- La date de coupe est une information intéressante pour savoir quand les plantations reviendront à maturité l'année d'après ; un décalage de la coupe entraîne un décalage du cycle suivant.
- Besoin d'informations sur la maturité de la canne pour optimiser la date de coupe.
- Besoin d'information sur l'avancement de la récolte, qui devrait permettre d'affiner l'estimation de la production au fur et à mesure de l'avancement de la récolte à l'échelle de la Guadeloupe et des différents bassins.
- Besoin d'une estimation de production avant récolte non soumise à polémiques. Le comité de prévision de récolte présente en effet des prévisions un mois avant la récolte, prévisions issues à la fois des simulations de croissance du CIRAD (modèle MOSICAS) et d'estimation de la Chambre d'Agriculture (à dire d'expert). Ces 2 sources de données sont souvent divergentes, et les chiffres fournis par le comité sont en général, sous l'effet des pressions politiques et économiques, plus proches de ceux estimés par la chambre que ceux calculés par le CIRAD. Les résultats de production, quant à eux, sont généralement plus proches des prévisions du CIRAD.

De façon générale, et comme pour les autres sites, l'intérêt est très marqué pour les prévisions de rendement, le suivi de la récolte et le suivi de la maturation.

BILAN DES BESOINS

7. Les produits cartographiques

Si l'on essaye de faire le bilan des besoins exprimés ou pressentis à Maurice, à La Réunion et en Guadeloupe, on peut établir une liste de produits cartographiques regroupés en 5 grands groupes :

	MAURICE	REUNION/GUADELOUPE
1. Parcellaire numérique		
Création	SIFB, MSIRI	
Mise-à-jour	Gros planteurs	DAF, usiniers, CTICS, SICA
2. Suivi agronomique de la canne		
Hétérogénéité intra-parcellaire	Gros planteurs	Gros planteurs
Hétérogénéité inter-parcellaire	MSIRI	CTICS, SICAs
Anomalies de croissance/Sécheresse	Gros planteurs, SIFB	CTICS, gros planteurs
Dégâts dus aux cyclones	SIFB	DAF
Rendement à la parcelle ?	Gros planteurs	CTICS, SICAs, usiniers, Chambre
3. Suivi de la conduite de la culture		
Enherbement	SIFB	CTICS
Date de coupe/replantation		Usiniers
Irrigation		CTICS, DAF
Age de la plantation		CTICS, DAF
Aptitude à la mécanisation	MSIRI	DAF
4. Suivi de la récolte		
Surfaces récoltées/non récoltées		Usiniers, Chambre
Maturité de la canne	Gros planteurs	Usiniers, Gros planteurs
5. Prévisions de rendement	Gros planteurs	Usiniers, CTICS, planteurs, CUMAs, ETAs, SICAs, Chambre, DAF
6. Aménagement du territoire		
Occupation du sol	MSIRI	DAF
Dynamique de l'occupation du sol	MSIRI	DAF

La définition des besoins et les spécifications des produits cartographiques par les futurs utilisateurs est restée vague, notamment à Maurice où le manque de pratique et de sensibilisation à l'information géographique numérique et aux nouvelles technologies spatiales est une réalité. Cependant, la présentation des produits potentiels a soulevé beaucoup d'intérêt chez certains partenaires clés de la filière. Une présentation des premiers produits réalisés par le prototype est nécessaire pour sensibiliser les différents utilisateurs potentiels à ces nouvelles technologies et ainsi affiner leurs besoins.

8. Le système d'information

Comme pour les produits, les besoins des utilisateurs en termes de système d'aide à la décision n'ont pas été clairement explicités. Cependant, les visites et discussions avec les principaux partenaires de la filière ont permis de dégager quelques grandes lignes pour la conception du système dont les mots-clés sont **simplicité** et **pertinence**.

C'est ainsi que nous envisageons deux niveaux de traitement des données :

- en amont, un opérateur spatial qui fournit aux utilisateurs des produits cartographiques issus de l'imagerie satellitaire ;
- en aval, un SIG dédié local chez l'utilisateur qui va lui permettre de combiner les produits de l'opérateur spatial, des données exogènes et son expertise pour affiner sa stratégie de gestion.

La plupart des systèmes spatiaux d'aide à la décision dans le domaine agricole fonctionnent sur ce principe (Satshot⁸, windisp 4.0⁹....)

8.1. Traitement des images chez un opérateur spatial :

Le pré-traitement des images (rectification géométrique et géoréférencement ...) et la production des cartes thématiques simples à partir de l'information spectrale doivent être faits chez un opérateur spatial qui est en contact direct avec les fournisseurs d'images et qui a le matériel et les compétences pour assurer des produits de qualité en un temps très réactif.

8.2. Un SIG dédié en local :

De par leur vocation commerciale, les logiciels SIG que l'on trouve sur le marché s'adressent à une multitude d'utilisateurs potentiels et proposent un large panel de fonctions qui ne sont pas toujours adaptées et intuitives lorsque l'on veut répondre à des questions thématiques précises. Leur utilisation reste donc généralement soumise à une formation longue et une pratique régulière et seule une partie de leurs fonctionnalités est réellement utilisée. Pour limiter cet investissement en temps et en argent, et assurer une large utilisation du système, un SIG simple, peu coûteux et dédié à la filière "canne" doit être développé. Il doit pouvoir être utilisé facilement par des non-spécialistes de la géomatique, et une formation très courte (de 1 à 2 jours) doit être suffisante pour conduire les analyses spatiales.

Ses principales caractéristiques seront :

Un faible coût ou gratuité : pour en assurer une large diffusion et utilisation. La plus-value sur le service nous semble devoir provenir des données et non pas du système.

Une utilisation en local : afin de ne pas être totalement dépendant du bon fonctionnement du réseau, qui reste encore aléatoire, lent et cher dans certaines régions du monde, le SIG doit pouvoir fonctionner en local sur des PC peu puissants sous environnement Windows ;

Un système modulable : afin de ne pas alourdir le SIG, différents modules seront proposés suivant les utilisateurs (usiniers, planteurs, collectivités territoriales ...)

Un système ouvert : qui permet d'une part la saisie de données supplémentaires, la combinaison de données de différentes sources tout en laissant une grande part à l'expertise des utilisateurs.

Un système compatible : qui utilise un format de données reconnu par les standards internationaux de données spatiales, afin d'assurer la compatibilité avec d'éventuels systèmes existants.

⁸ http://www.satshot.com/Products/Field_ImaGIS/Purchase/Software/software.html

⁹ <http://www.fao.org/gIEWS/french/windisp/dl.htm#dl4>

DOCUMENTS DE TRAVAIL

- Baleux F., Bégué A., Corbett J., Rollin D., Grellet G. and White J., 2001. Entre l'exploitation et la région, les Almanachs numériques pour l'aide à la décision dans la planification - Exemple de Madagascar, in: *Modélisation des agroécosystèmes et aide à la décision*, E. Malézieux, G. Trébuil and M. Jaeger, CIRAD/INRA Ed., 427-439.
- Bégué A., 2002. Rapport de mission : Ile de la Réunion du 4-8 mars 2002. CIRAD-AMIS/ Géotrop, Montpellier, 14p.
- Bégué A., 2003. Rapport de mission Guadeloupe du 6-14 février 2003. CIRAD-AMIS/Géotrop, Montpellier, 2003, 8p.
- Bégué A., Iltis N. et G. Despres, 2002. Rapport de mission : Ile Maurice et Ile de la Réunion du 26 Sept-5 Oct 2002. Cirad-Géotrop, 7p.
- Cirad et Spot Image, 2002. Projet « Sucrète », Système de Suivi de la Canne à Sucre par Télédétection. Proposition détaillée (avril 2002), 31p.
- CTSR, 2002. Bilan de la campagne sucrière 2002, Comité Technique de Suivi de Récolte, Chambre d'Agriculture de Guadeloupe, 27p.
- DAF, 2000, Campagne sucrière, La Réunion 1999 – 2000. Les dossiers de la Direction de l'Agriculture. La Réunion, Octobre 2000, 26p. + annexes
- Lainé G., 2001. Cartographie et évaluation des surfaces cultivées en canne à sucre (1995 à 1999). Rapport final FEOGA/FIDOM « Etude de la sole cannière », CIRAD Montpellier, 137p.
- Martiné, J.F., Siband, P., and Bonhomme, R., 1999. Simulation of the maximum yield of sugar cane at different altitudes : effect of temperature on the conversion of radiation into biomass. *Agronomie*, 19, 3-12.
- MSIRI, 2002. Economics of grouping planters into Land Area Management Units (LAMUs). Phase II : Viability, cost-effectiveness and optimum size. Août 2002. MSIRI, Occasional Report, n° 28. 61p.
- ODEADUM, 2002. Etude de l'organisation de la récolte et du transport des cannes à sucre en guadeloupe, Rapport de synthèse du 25 janvier 2002, 19p.
- Ribbes F., 2002. Compte-rendu de mission Sucrète – La Réunion 29/09/02 – 05/10/02. Spot Image, 11p.
- Remond J.M., 2002. Validation d'un modèle de croissance de la canne à sucre et application à l'optimisation d'un calendrier d'irrigation. DEA Environnement Tropical et Valorisation de la Biodiversité, Université des Antilles et de la Guyane, 43p.
- Todoroff P., 2001. CASSIS (Canne A Sucre Système d'Information Spatialisée), logiciel de gestion de base de données agronomiques géoréférencées et de cartographie pour un parcellaire de canne à sucre, Notice d'utilisation, CIRAD-CA, Juillet 2001, 12p.
- Zébus M.F. et Diman J.L.. Le rôle déterminant de la prestation de service dans la production de canne à sucre en Guadeloupe. Cahiers d'études et de recherches francophones/ Agricultures, Vol. 11, Numéro 6, Nov-Dec. 2002 : 385-390.

OCM (décembre 2002) : <http://cmlag.fgov.be/dg2/fr/th%C3%A8me/TOCMsucre-1.htm>

FAOStat Agricultural Data (avril 2002) : <http://apps.fao.org/page/collections?subset=agriculture>

PERSONNES RENCONTREES

A Maurice :

Jean-Claude AUTREY :	Directeur du MSIRI
Dr. C. SOOPRAMANIEN :	Sous-Directeur du MSIRI
Indurty JHOTY :	Responsable du Land Resources Department - MSIRI
Bernard d'ARIFAT :	Responsable 'développement agricole' - Plantation Médine
Jean-Noel PARFAIT :	Responsable SIG - Plantation Médine
Jean Robert LINCOLN :	Responsable 'développement agricole' - Pl. Deep River-Beau Champ
Denis PILOT :	Administrateur de Belle-Vue et Beau-Plan – Pl. Belle-Vue
Diness PURRYAG :	Directeur du SIFB
Khrishna VAYAPOOREE :	Directeur-adjoint du SIFB

A la Réunion :

Bertrand SIEGMUND :	Responsable du Pôle Canne à sucre CIRAD-Réunion
Jean-François MARTINE :	Agronome (Modélisation de la croissance) - CIRAD-Réunion
Denis POUZET :	Agronome (techniques culturales , fertilisation) - CIRAD-Réunion
Jean-Louis CHOPART :	Agronome (irrigation) - CIRAD-Réunion

Dominique GIRARDOT :	Directeur Général Adjoint - Groupe Quartier Français
Philippe RONDEAU :	Responsable R&D – Groupe Quartier Français
Pierre TEISSIER :	Responsable SIG - Groupe Quartier Français
J.Y. GONTHIER :	CTICS
Frédéric LORICOURT :	CTICS
Vincent LE DOLLEY :	Directeur DAF
Marc LOEWENHAUPT :	Responsable SIG - DAF

En Guadeloupe :

Pierre TODOROFF :	Responsable AGRIGUA (CIRAD)
Philippe AURIOL :	Responsable du Pôle canne à sucre CIRAD-Guadeloupe
J. DAUGROIS :	Spécialiste Pathologie de la canne – CIRAD-Guadeloupe
Frédéric BONNARD :	Informaticien – CIRAD-Guadeloupe
Christophe POSER :	Responsable de la station de Roujol - CIRAD-Guadeloupe
Cyril MATHIEU :	Responsable développement Canne/Relation planteurs de Gardel SA
Dominique TRESSENS :	Chef d'exploitation de Gardel SA
Alain BAZIR :	Directeur UDECAG (Basse-Terre 4000 ha)
Yolaine KESTEL :	Gère l'Observatoire foncier de la Chambre d'Agriculture
Thierry ORFEVRES :	Directeur de la CICAMA – Bassin cannier de Marie-Galante
M. PIRAL :	CTICS
Patrice GANOT :	SAFER
Olivier CHATELARD :	Technicien SAFER
Rose-Lee RAQUI :	Dir. des affaires européennes et de la coopération régionale (CR)

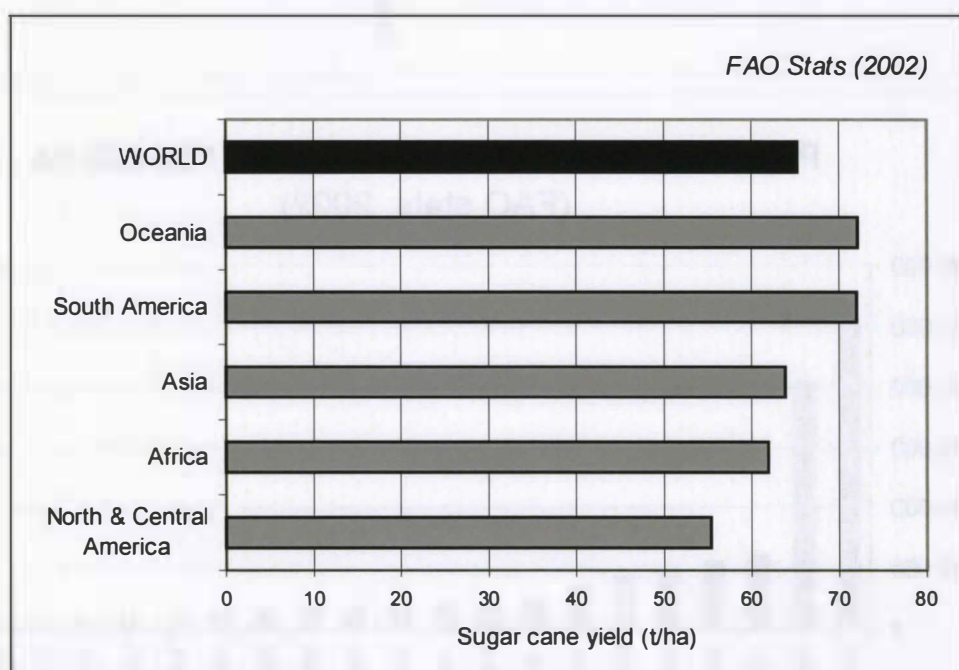
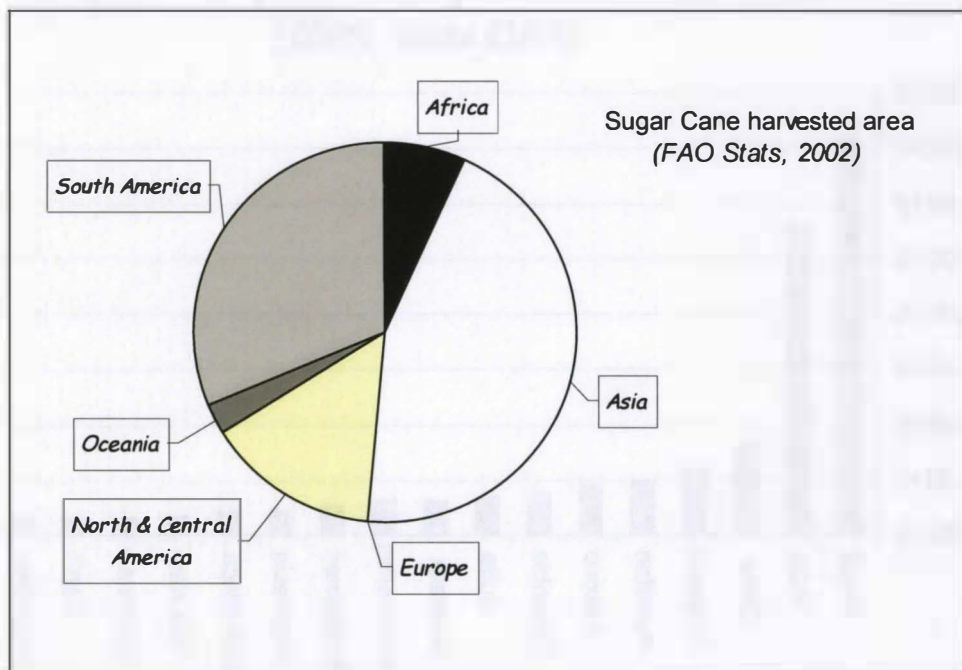
Autres rencontres :

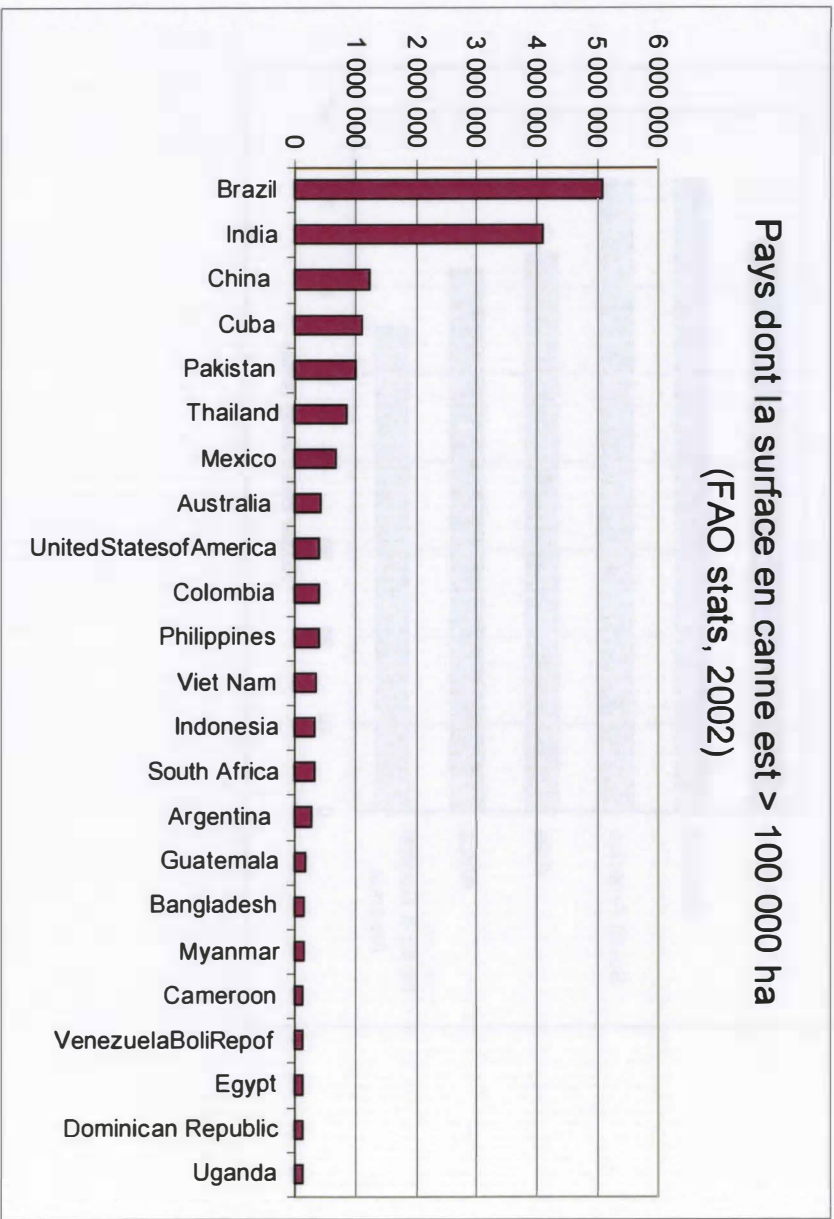
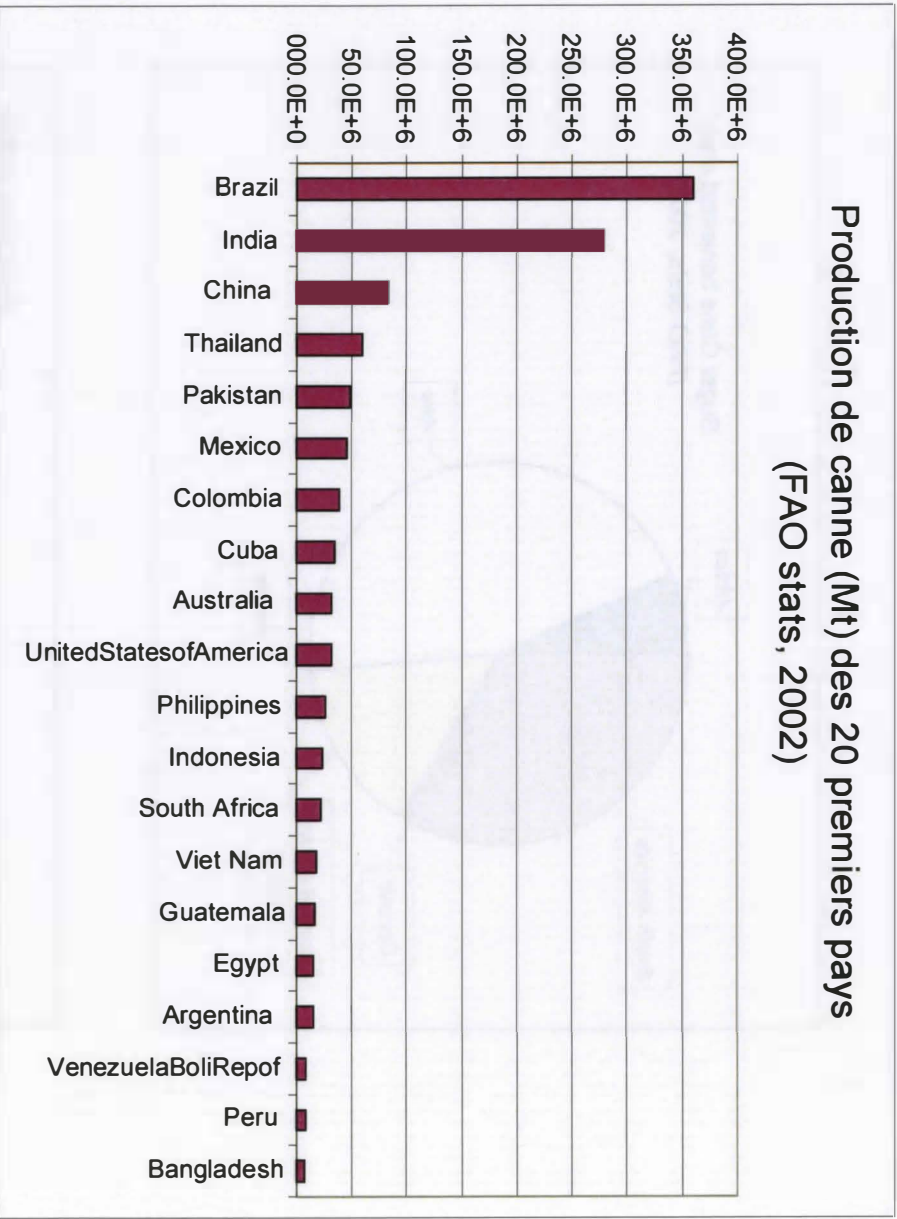
David KING :	Secrétaire "Association des planteurs de canne - IFAP - France
A. SINGELS :	Modélisateur de la SASEX (South African Sug. Assoc. Exp. Station)

ANNEXES :

Annexes

Annexe 1 : La canne à sucre dans le monde (d'après FAO stats, 2002) ...





Annexe 2 :

Prévisions de rendement cannier à la réunion (résumé d'entretien entre J.F. Martiné et A. Bégué – Nov. 2002)

Le modèle de croissance de la canne MOSICAS (J.F. Martiné) est utilisé actuellement une seule fois, début juin soit un mois avant la campagne sucrière, pour estimer :

- dans un premier temps les rendements par bassin (Beaufonds et Bois Rouge desservant l'usine de Bois Rouge), et
- dans un deuxième temps les productions selon les renseignements en surfaces à récolter lors de la prochaine campagne.

Ces renseignements sont fournis par le CTICS sur la base d'enquêtes déclaratives réalisées entre la fin de la dernière campagne et le début de la suivante (1/3 des surfaces ou planteurs).

Méthodologie :

Avant chaque campagne n , sont utilisées les données climatiques historiques (95 à $n-1$) de Beaufonds pour le bassin de Beaufonds et de Beaufonds et Gillot pour le bassin de Bois Rouge.

Les données historiques (95 à $n-1$) de rendements sont calculées à partir des productions et surfaces récoltées par bassin. Chaque Bassin est considéré comme une seule parcelle sur laquelle entre chaque date de milieu de campagne et mi-juin de l'année suivante est effectuée une simulation. Les résultats issus de ces simulations de 95 à l'année $n-1$ (rendement, cumuls de ETR/ETM, cumuls de drainage par cycle ou stades, ...) sont comparés aux rendements moyens annuels observés par bassin à l'aide d'une analyse multivariable.

Ainsi un modèle statistique linéaire à plusieurs variables est défini par bassin et utilisé pour l'année suivante n en utilisant la climatologie de n à $n-1$. Chaque année le modèle statistique est affiné avec une année supplémentaire. Un modèle statistique par bassin est ainsi réalisé avec un r^2 (rendement observé = $f(\text{variables simulées})$) devant dépasser 0.95 pour la précision demandée, ce qui est largement le cas.

Ces estimations, ou indicateurs de tendance, sont donnés donc début juin aux partenaires de la filière canne : usiniers, CTICS, DAF,

Annexe 3

Système de prévision de rendement de la canne à sucre par analyse statistique historique et modélisation de la croissance (P. Todoroff)

L'étude est effectuée sur la base des rendements observés lors des n années précédentes (plus n est grand, plus précises seront les estimations), des données météorologiques correspondantes et des données météorologiques de l'année en cours.

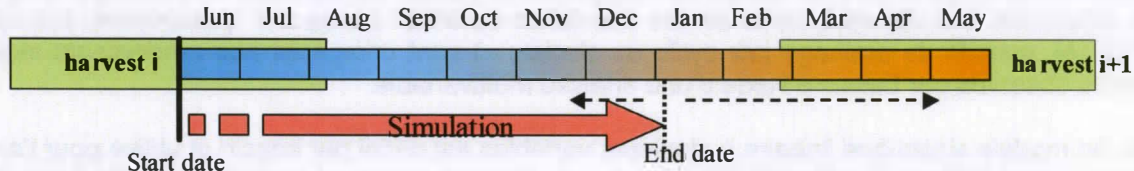
Le principe consiste à déterminer les coefficients d'une fonction d'estimation du rendement, régression linéaire de plusieurs variables, dont des variables observées (météo) et des variables simulées (sorties du modèle Simulex/Mosicas).

Ajustement de la fonction d'estimation :

Pour chacune des années de l'historique (sauf l'année courante) on calcule un certain nombre de variables :

- Météorologiques : somme des températures, somme du rayonnement global, somme des ETP, des ETR, pluies cumulées, drainage cumulé, etc...
- Simulées : biomasse finale, hauteur des tiges, rendement canne à la date de simulation, etc...

Ces calculs sont effectués sur la période de l'année commençant au milieu de la récolte précédente et se terminant le même jour que la date du calcul de prévision (ex le 1^{er} décembre de chaque année si l'on effectue les prévisions au 1^{er} décembre). Les données météo doivent évidemment être connues sur cette période.



Ces variables sont reliées au rendement observé pour chacune de ces années via une équation de régression multi-variables :

$$\text{Rdt observé}_{\text{année } n} = c_0 + c_1 \sum T_n^\circ + c_2 \sum Rg_n + c_3 \sum ETP_n + c_4 \sum ETR_n + \dots + c_i \text{Rdt}_n + \dots$$

Une analyse de variance préalable permet de déterminer les variables les plus explicatives du rendement et de ne conserver que celles-ci dans la régression.

Estimation du rendement de la récolte à venir :

Une fois les coefficients de régression c_i déterminés, on calcule les valeurs des mêmes variables, mais pour l'année en cours. Il suffit ensuite d'entrer ces valeurs dans la fonction de régression pour obtenir le rendement estimé pour la prochaine récolte.

$$\begin{aligned} \text{Rdt prévu}_{\text{année en cours}} &= c_0 + c_1 \sum T_{\text{en cours}}^\circ + c_2 \sum Rg_{\text{en cours}} + c_3 \sum ETP_{\text{en cours}} + \dots \\ &+ c_i \text{Rdt}_{\text{en cours}} + \dots \end{aligned}$$

Annexe 4

Plantation de Médine

Adresse : Bambous, Rivière Noire

Telephone : 452-0400 to 02; 452-0404; 452-0100 to 02

Fax : (230) 452-0403

e-mail: medine@intnet.mu

Propriétaire : The Médine Sugar Estates Co. Ltd.

Président du bureau des directeurs : Mr Pierre Doger de Spéville

Responsable administratif : Mr Joseph Vaudin

Directeur de la plantation : Mr Jacques Forget

Siege social

Adresse : WEAL House, 2, La Reine St., Port-Louis

Telephone : (230) 212-4194 to 98; 212-5617/18; 212-3686

Telex: WEAL 4855 IW

Fax : (230) 208-8584

Secrétaire général : Mr Maxime Leclézio

Responsable financier : Mr Maurice de Marassé Enouf

Surfaces cultivées en canne

- appartenant au domaine : 4 724 hectares

- appartenant aux planteurs : 1 750 hectares

Nombre de planteurs : 550

Usine

Capacité : 190 tonnes de canne/heure

Production moyenne durant les 5 dernières années

Canne à sucre : 398 000 tonnes

Sucre : 42 954 tonnes

Record de production

Canne à sucre : 533 337 tonnes en 1987

Sucre : 62 692 tonnes en 1986

Taux d'extraction

Moyenne des 5 dernières années : 10,69 %

Record : 13,12 % en 1956

Autres activités

Diversification agricole

Elevage

Crevettes d'eau douce : 2,5 tonnes/an

Volaille : 1 200 000/an

Bétail : 900 têtes

Elevage de daims: 800 têtes

Sanglier sauvage : 650 têtes

Annexe 5

The Sugar Insurance Fund Board

The Sugar Insurance Fund, established in 1946, is now governed by the provisions of Act No. 4 of 1974 as subsequently amended. Its objects are to insure the sugar industry against losses due to cyclones, droughts, excessive rainfall and fire and also to insure the sugar stored at the Bulk Sugar Terminal against fire, explosion and other perils.

This insurance is compulsory and payment of the individual premium is effected directly by the Mauritius Sugar Syndicate on behalf of all sugar producers. For planters and millers, the amount of sugar to be insured is assessed by reference to the three crop years having the highest sugar yield per hectare, out of the respective twelve and five immediately preceding crop years and the acreage harvested for the year. For the millers, the quantity of sugar insurable is normally 24% of the insurable sugar of all the cane plantations in their respective factory areas whilst for the planters it is 76% of the insurable sugar of their plantations.

The rate at which sugar is shared between planters and millers is determined by the Cane Planters and Millers Arbitration and Control Board and is presently 76 : 24.

The Board may make advances to an insured eligible to compensation up to 80% of the loss suffered or likely to be suffered by the insured.

For the purpose of providing a long term equity among insured and also between the insured and the Fund, the insurance scheme provides for the establishment of a ranking for each insured. This ranking is adjusted every year according to the claims experience of each insured, taking into account his compensation/premium ratio for the preceding year.

The ranking determines the rate of premium payable on the insurable sugar, the first loss percentage of insurable sugar to be borne by each insured and the percentage value of shortfall to be compensated.

The percentages for the lowest and for the highest rankings are:

Ranking	% Premium	First loss percentage	% value shortfall
5,0	8,80	16,0	55,0
15,0	5,50	4,0	80,0

These terms of insurance are actuarially reviewed every 5 years.

The scheme also indemnifies for losses resulting from fires during the intercrop season. Every insured contributes to the Fire Insurance Account an annual premium of R 6 per tonne of insurable sugar. When he has suffered a loss as a result of fire, he is entitled to compensation on the following basis:

1. in the case of a planter or metayer: R 250 per tonne of cane short produced.
2. in the case of a miller: R 79 per tonne of cane short produced on planter's cane plantations.

Disponible sur : <http://www.prosi.net/simau97/ch2pol.htm>

Consulté le 03/02/02



Caractérisation et analyse de la variabilité intra-parcellaire à partir de données satellitales SPOT -Application à la canne à sucre-

SYSTEMES
D'INFORMATIONS
LOCALISÉES
POUR
L'AMÉNAGEMENT
DES TERRITOIRES

Johanna Pater

Directeur du projet :
Tuteur SILAT :
Rapporteurs :

Agnès Bégué (CIRAD)
Edouard Beauvillain (E.N.S.G.)
Philippe HUET (I.N.A.-PG-Grignon))
José Madeira (UMR LISAH)

Novembre 2004



Mastère spécialisé de la Conférence des
Grandes écoles

LETTRE DE MISSION

Organisme commanditaire

Nom : CIRAD/AMIS

Adresse : Avenue d'Agropolis 34398 Montpellier
Cedex 5 - France

Site Web : www.cirad.fr

Commanditaire (personne physique)

Nom : BEGUE Agnès

Fonction : responsable d'équipe

Adresse : Maison de la télédétection

500, rue J-F. Breton 34093

MONTPELLIER Cedex 5, FRANCE

Mail :

agnes.begue@cirad.fr

Tuteur

Nom : BEAUVILLAIN Edouard

Organisme : ENSG

Adresse : 6-8, avenue Blaise-Pascal, Cité

Descartes, Champs- sur-Marne

77455 Marne la Vallée cedex 2

Mail : Beauvillain@ensg.ign.fr

Rapporteurs

Nom : HUET Philippe

Organisme : I.N.A-PG-Grignon

Adresse

Mail : huet@grignon.inra.fr

Nom : Madeira José

Organisme : UMR LISAH

Adresse :

Mail : madeira@ensam.inra.fr

Titre

Caractérisation de la variabilité spatio-temporelle de la sole cannière en Guadeloupe et île Maurice.

Présentation

Le projet SILAT s'inscrit dans le cadre du projet SUCRETTE (SUIvi de la Canne à sucre par Télédétection) qui a pour objectif d'élaborer des produits d'aide à la décision (mise à jour du parcellaire, suivi des interventions culturales, caractérisation de la variabilité spatiale, estimation de la production), issus de l'imagerie spatiale, pour la filière canne à sucre.

Le projet de six mois qui m'a été confié concerne la caractérisation de la variabilité spatiale et il présente deux volets principaux :

1) Mise en place d'une méthodologie basée sur le traitement d'images et l'analyse spatiale afin de caractériser les variabilités intra- et inter-parcellaire rencontrées en deux sites distincts : Guadeloupe et île Maurice.

2) Proposition de pistes de diagnostic agronomique pouvant expliquer la variabilité spatiale, précédemment mise en évidence. Ces propositions se baseront sur une étude diachronique : la composante intra-annuelle sera analysée à partir de séries temporelles fines (acquisition mensuelles) d'images SPOT 4 et 5 qui sont d'ores et déjà à notre disposition ou en cours d'acquisition et la composante inter-annuelle sera étudiée par l'utilisation d'images d'archives. Des données de terrain concernant essentiellement la profondeur du sol seront également disponibles pour le site de Guadeloupe et peut être à Maurice.

Au cours du projet, des produits de démonstration (cartes) devront être élaborés en partenariat avec l'équipe informatique du laboratoire, afin d'être présentés, par la suite, aux acteurs de la filière. Les logiciels utilisés pour cette étude seront ERDAS, ArcView mais il est aussi envisagé de tester un logiciel d'analyse spatiale adapté à l'agriculture : Mapcalc. Enfin la rédaction d'un rapport méthodologique et de fiches techniques concernant l'élaboration et l'utilisation des produits finalisera le projet.

Sommaire

I. Introduction.	4
A. Le contexte : le projet SUCRETTE	4
B. Les objectifs du projet SILAT	4
C. L'agriculture de précision et la télédétection	4
D. Quelques précisions sur la canne à sucre	5
1) Caractéristiques biologiques et conduite culturale	5
2) Les facteurs de variabilité spatiale de la canne	6
II. Matériels et méthodes	7
A. Les sites d'étude	7
1) La plantation de Gardel	7
2) La plantation de Médine	7
B. Les données	8
1) Les données satellitales SPOT	8
2) Les données sur le sol	8
3) Autres données :	9
C. Le traitement des données	9
1) Choix des parcelles étudiées	9
2) Caractérisation de la variabilité spatio-temporelle intra-parcellaire	10
3) Mise en relation des cartes de variabilité avec les données externes	12
III. Résultats	14
A. Caractérisation de la variabilité intra-parcellaire	14
1) Etude monotemporelle :	14
2) Etude multitemporelle	15
3) Les facteurs explicatifs de la variabilité	18
4) Les données descriptives	20
IV. Synthèse et discussion	21

I. INTRODUCTION.

A. LE CONTEXTE : LE PROJET SUCRETTE

La filière canne à sucre de l'Union Européenne connaît actuellement une période délicate. En effet, suite au constat d'une surélévation des prix par rapport au marché mondial (3 fois supérieur), du manque de concurrence de la filière et de l'impact de l'exportation des surplus sur la production des pays en voie de développement, la Commission européenne prévoit une réforme qui consiste à réduire les quotas et à supprimer certains financements. Par conséquent, l'augmentation de la rentabilité par réduction des coûts et l'amélioration de la gestion de la filière constituent des enjeux importants pour la viabilité de la filière entière.

C'est dans ce contexte que fut lancé le projet SUCRETTE (SUivi de la Canne à suCRE par TélédéTEction) qui a pour objectif global de « **développer de nouveaux produits spatiaux et un prototype de système d'information pour l'aide à la gestion de la filière canne à sucre** » (rapport sur sucrette, prendre les ref). Initié par le CIRAD-AMIS (laboratoire GEOTROP), commanditaire aussi du projet SILAT faisant l'objet de ce rapport, SUCRETTE réunit aujourd'hui le CIRAD Montpellier, le CIRAD Réunion, le CIRAD Guadeloupe, SPOT IMAGE et le MSIRI (Mauritius Sugar Industry Research Institute).

Lors de l'analyse des besoins, il a été mis en évidence un certain nombre d'attentes de la part de la filière canne à sucre, parmi lesquelles : **l'aide au suivi agronomique de la canne grâce à une meilleure connaissance de l'hétérogénéité intra-parcellaire**. Le projet SILAT, présenté ici, s'inscrit dans cette optique.

B. LES OBJECTIFS DU PROJET SILAT

Initialement, ce projet devait porter sur l'étude des variabilités spatiales intra- et inter-parcellaire existantes au niveau d'une sole cannière* (définition de la sole cannière en bas de page)(voir lettre de mission) mais les objectifs ont été redéfinis et seule la **variabilité intra-parcellaire** a été considérée.

Ainsi les objectifs finaux du projet ont été les suivants :

- Elaborer une ou plusieurs méthodes de caractérisation de la variabilité spatiale du couvert cannier à l'échelle de la parcelle agronomique (unité spatiale caractérisée par la mise en œuvre d'un itinéraire technique unique). L'originalité de l'étude venant du fait que l'accent sera mis sur le traitement de l'information en multitemporel.
- Comprendre l'origine de cette variabilité grâce à l'étude de données annexes
- Proposer à l'exploitant une représentation synthétique de cette variabilité.

Autrement dit, le but est de mettre au point une méthode de représentation simplifiée de la variabilité spatio-temporelle, sous forme de cartes, et de donner des pistes sur les facteurs en cause. La méthodologie sera essentiellement basée sur le traitement et l'analyse de séries temporelles d'images satellitaires SPOT, selon une approche totalement exploratoire, aucun article concernant une étude similaire n'ayant été trouvé.

C. L'AGRICULTURE DE PRECISION ET LA TELEDETECTION

Le projet présenté ici s'inscrit dans une démarche d' **Agriculture de Précision** (*Precision Farming*), grâce à l'utilisation de la télédétection.

Ce concept, formulé pour la première fois dans les années 1980 (Jackson,1984; Jhoty,2001; Zhang *et al.*,2002; Guénette,2003; Jhoty and Autrey,?) peut se résumer ainsi : « **effectuer la bonne intervention, au bon endroit et au bon moment** ». Le principe consiste donc à gérer la variabilité des cultures à un niveau inférieur à celui de la parcelle c'est à dire de considérer la

variabilité spatiale intra-parcellaire, l'objectif recherché étant « d'améliorer la productivité des parcelles par une plus grande efficacité des pratiques culturales et de l'utilisation des intrants tout en respectant mieux l'environnement » (Brisco *et al.*,1998; INRA-Cemagref-ITCF,1999; Wang,2001; Zhang *et al.*,2002; CRAAQ,2003; Davis *et al.*,?).

Le développement de l'Agriculture de Précision est intimement lié au développement parallèle de nouvelles technologies permettant de détecter et traiter cette variabilité intra-parcellaire au niveau de grandes exploitations (Thevenet,1997; Davis *et al.*,?; McLaughlin,?). Ces innovations, produits de l'âge actuel de l'information et de l'avènement de la géomatique, sont principalement : le GPS (*Global Positioning System*), les VRT (*Variable Rate Technology*), les SIG (Systèmes d'Information Géographique) ainsi que la **télédétection** aérospatiale (Boisgontier,1997b; Wang,2001; Zhang *et al.*,2002; Davis *et al.*,?).

Des produits commerciaux existent déjà tels que FARMSTAR développé, entre autre, par Astrium et Arvalis ou encore SATSHOT d'Agri-imaGIS Technologies ((Site de SATSHOT;; Site sur FARMSTAR). Cependant, la méthodologie appliquée pour la réalisation de ces produits n'est jamais explicitée, il est donc difficile de s'en inspirer, si ce n'est pour la présentation cartographique.

D. QUELQUES PRECISIONS SUR LA CANNE A SUCRE

1) Caractéristiques biologiques et conduite culturale

La canne à sucre (*Saccharum officinarum*) est une graminée vivace qui repousse spontanément après chaque récolte. Elle est peu exigeante en matière de sol et d'intrants (Memento de l'agronome,1991), connaît peu de maladies mais est relativement sensible au stress hydrique.

Après 7 à 8 repousses, le rendement diminue, il faut donc replanter. Ainsi les planteurs renouvellent environ 10 à 15% des parcelles de leur exploitation, chaque année.

La récolte s'étend sur plusieurs mois et doit être réalisée au moment où la canne présente un taux de sucre maximal, c'est à dire pendant la période sèche. La coupe encore souvent manuelle tant à se mécaniser (Bégué *et al.*,2003; Catsidonis,2003) mais l'organisation logistique reste lourde car une fois coupée, la canne doit être usinée dans les 24h-48h pour conserver un bon taux d'extraction du sucre.



Source :
http://perso.wanadoo.fr/la_meca/dossiers/canne/4.htm



Source : <http://www.oceandimages.com/photo.php?PID=3277>

Une parcelle de canne à sucre présente un couvert très dense (entre 50 et 120 tonnes de matière fraîche par hectare) et pouvant atteindre une hauteur allant de 2 à 5 mètres. Il est ainsi généralement impossible d'observer, à partir du sol, l'état des cultures à l'intérieur des champs,

n'y même d'y pénétrer. La télédétection aérospatiale s'est donc rapidement imposée comme un outil privilégié permettant l'étude de la variabilité spatiale de la canne à sucre.

2) Les facteurs de variabilité spatiale de la canne

Ce sont potentiellement les mêmes facteurs que pour les autres cultures. Voici ceux les plus couramment cités dans la bibliographie (Boisgontier,1997a; Boisgontier,1997b; INRA-Cemagref-ITCF,1999; Zhang *et al.*,2002; Barnes *et al.*,2003; Neményi *et al.*,2003; Wood *et al.*,2003; Davis *et al.*,?; Jhoty and Autrey,?) :

a) Les facteurs permanents :

La topographie (microrelief, pente, exposition) qui peut varier sur de courtes distances et créer des microclimats locaux (humidité ou sécheresse accrue).

Le sol dont les propriétés sont très souvent mises en causes dans la variabilité des rendements. On cite ainsi souvent la fertilité des sols (présence de nutriments), leur profondeur qui agit sur la réserve en eau disponible, leur texture/compaction, l'humidité présente, le pH, le taux de matière organiques, la salinité...

Les précédents culturels qui est un facteur d'origine anthropique, qui s'ajoute aux facteurs naturels. En ce qui concerne la variabilité intra-parcellaire, ils peuvent avoir leur importance : s'il y a eu remembrement parcellaire, des parcelles peuvent être composées de zones qui n'ont pas subi les mêmes traitements antérieurs (rotations culturales, travail du sol, apports d'intrants, types de cultures antérieures ...)

Les effets de bord : les conditions environnementales en bordure de champs peuvent être particulières (ensoleillements différents, vents renforcés...) induisant un développement différent de la végétation.

b) Les facteurs variables dans le temps :

Ces facteurs, qui sont en général des anomalies au niveau des cultures, font entrer une dimension temporelle (saisonnière ou aléatoire) dans la variabilité observée et donc compliquent le système.

Les problèmes phytosanitaires, c'est à dire les invasions par des mauvaises herbes, par des insectes, par une maladie...

Les conditions climatiques particulières comme les coups de vent, les fortes pluies...

Les mauvaises pratiques culturales (mauvais travail du sol, rang trop serrés...)

Les problèmes de matériel planteuse défectueuse, sprinkler d'irrigation bouché....)

Sur le terrain, il s'agit en général d'une combinaison de plusieurs facteurs variables ou non dans le temps, par exemple le climat peut agir mais aura des effets différents selon l'état du sol, une forte pluie érodera le sol en cas de pente alors qu'elle fournirait une quantité d'eau bénéfique en zone plate.

II. MATERIELS ET METHODES

A. LES SITES D'ETUDE

Deux sites d'études ont été retenus pour ce projet : la plantation de Gardel en Guadeloupe et la plantation de Médine sur l'île Maurice, parce qu'ils présentent chacun des caractéristiques particulières.

1) La plantation de Gardel

Située au sud-est de Grande Terre en Guadeloupe, la plantation de Gardel est la plus grande de l'île avec environ 1000 hectares de cultures (figure 1). Avec des rendements moyens en canne de 45 t/ha, la production de Guadeloupe reste limitée et en étroite corrélation avec la disponibilité en eau (Bégué *et al.*, 2003; Catsidonis, 2003).

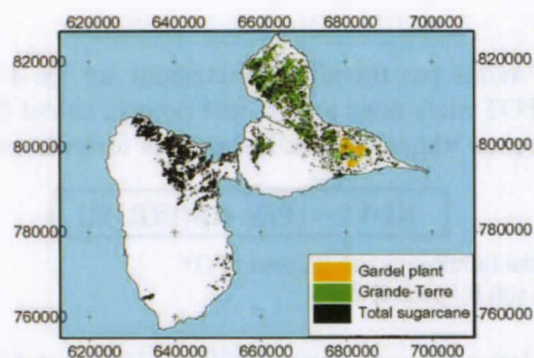


Figure 1 : La plantation de Gardel (Bégué *et al.*, 2004)

2) La plantation de Médine

Située coté ouest de l'île Maurice (fig...), la plantation de Médine qui comprend environ 4700 hectares, se caractérise par des parcelles de grandes tailles, par une politique d'irrigation des cultures et de mécanisation des travaux. Les rendements moyens atteignent ainsi les 85 t/ha.

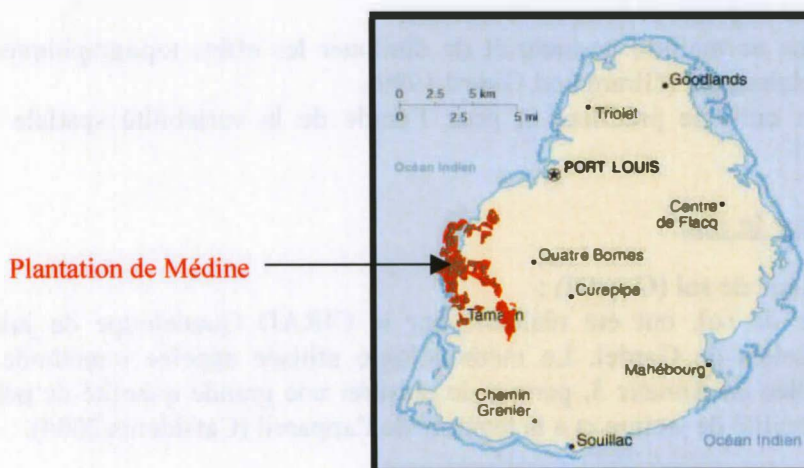


Figure 2 : la plantation de Médine (Source : <http://www.africa-onweb.com/pays/maurice/carte.htm>)

L'étude de ces 2 sites nous semblait intéressante afin déterminer si une méthodologie pouvait être appliquée sur différents sites mais aussi afin d'avoir un maximum de données à notre disposition.

B. LES DONNEES

1) Les données satellitaires SPOT

Dans le cadre du projet SUCRETTE, un grand nombre d'images satellitaires SPOT 4 (capteur HRV-IR, résolution de 20 m) et SPOT 5 (capteur HRG, résolution de 10 m) ont été acquises, rectifiées et étalonnées radiométriquement. Toutefois, les fréquences d'acquisition sont différentes entre nos 2 sites d'étude.

Pour Gardel : 19 images multispectrales acquises entre le 19/09/2002 au 19/06/2004 (caractéristiques en Annexe 1) soit une image tous les 1 à 2 mois. De plus, nous avons une image SPOT4 d'archive datant du 11/12/1999.

Pour Médine : 8 images multispectrales acquises entre le 18/07/2002 et le 14/05/2004 (caractéristiques en Annexe 2), soit en moyenne 4 par an. Sur ces 8 images seules 7 ont pu être orthorectifiées (car de niveau 1a et non 2a) et sont donc exploitables car le site présente un relief relativement important.

Pour notre étude, nous n'avons pas travaillé directement sur les 4 canaux B1, B2, B3, B4 des images multispectrales SPOT mais nous avons opté pour le calcul d'un indice de végétation : le NDVI (Normalized Difference Vegetation Indice) dont la formule est la suivante :

$$\text{NDVI} = (\text{PIR}-\text{R})/(\text{PIR}+\text{R})$$

PIR = Réflectance dans le Proche InfraRouge soit B3 pour SPOT

R = Réflectance dans le Rouge soit B2 pour SPOT

Cet indice varie de -1 à +1 et a été codé entre -1000 et +100 pour des raisons pratiques.

L'utilisation de cet indice de végétation, un des plus couramment utilisés, présente de nombreux intérêts :

- il synthétise l'information car il a été démontré que plus de 90% de l'information sur un couvert végétal est contenue dans les canaux Rouge et Proche InfraRouge (Sheffield,1985; Catsidonis,2003).
- il est un indicateur de l'activité photosynthétique du couvert, du LAI (Fonction de la surface foliaire et de la couleur des feuilles) (Thomas *et al.*,1999)
- il serait corrélé à la biomasse végétale et donc au rendement
- l'utilisation de la différence normalisée permettrait de diminuer les effets topographiques et ceux liés aux conditions d'éclairement (Girard and Girard,1999).

Le NDVI apparaît donc un outil de prédilection pour l'étude de la variabilité spatiale des couverts végétaux.

2) Les données sur le sol

➤ Mesures de profondeur de sol (Gardel) :

Des mesures de profondeur de sol, ont été réalisées par le CIRAD Guadeloupe de juin à septembre 2004, sur 4 parcelles de Gardel. La méthodologie utilisée appelée « méthode de résistivité électrique », détaillée en Annexe 3, permet de mesurer une grande quantité de points en peu de temps, grâce à la facilité de lecture et à la légèreté de l'appareil (Catsidonis,2004).

➤ Conductivité électrique des sols (Médine) :

Pour le site de Médine, nous avons obtenu du MSIRI (Mauritius Sugar Industry Research Institute) des mesures de conductivité électrique des sols (hauteur prospectée de 0,75m) datant de 2001, pour 5 parcelles et réalisées grâce à un capteur EM38.

3) Autres données :

En plus des données précédemment citées, nous avons à disposition d'autres données pouvant servir de support à l'analyse :

- 2 MNT (un pour chaque site d'étude) : Le MNT de Guadeloupe est à 10 m de résolution alors que celui de l'île Maurice est à 3 m de résolution.
- 2 images multispectrales Quickbird (une pour chaque site) : avec une résolution de 2,6 mètres, ces images rendent compte de détails non visibles sur les images SPOT et constituent donc une sorte de réalité-terrain.
- des relevés de pluviométrie mensuelle pour la plantation de Gardel et journalières pour la station météorologique de Boisvin.
- des données agronomiques : dates de plantation, de coupe, irrigation...
- des mesures de rendement, réalisées par capteur embarqué, lors des coupes 2001, 2002 et 2003, sur 8 parcelles de Médine par le MSIRI. Seules 2 de ces parcelles (BA6503 et BA6201) présentent aussi des mesures de conductivité.

C. LE TRAITEMENT DES DONNEES

1) Choix des parcelles étudiées

Nous avons sélectionné 2 parcelles (1 en Guadeloupe et 1 sur l'île Maurice) à partir desquelles la méthodologie de caractérisation et d'analyse de la variabilité intra-parcellaire a été élaborée. Les critères de sélection des parcelles ont été les suivants : (1) les données devaient être les plus complètes possibles, tant au niveau des données satellitales, que pour les données annexes, (2) la taille de parcelle devait être la plus importante possible pour maximiser le jeu de données.

Ainsi nous avons retenu la parcelle Sahara pour le site de Gardel (figure 3) et la parcelle BA6503 pour le site de Médine (figure 4).

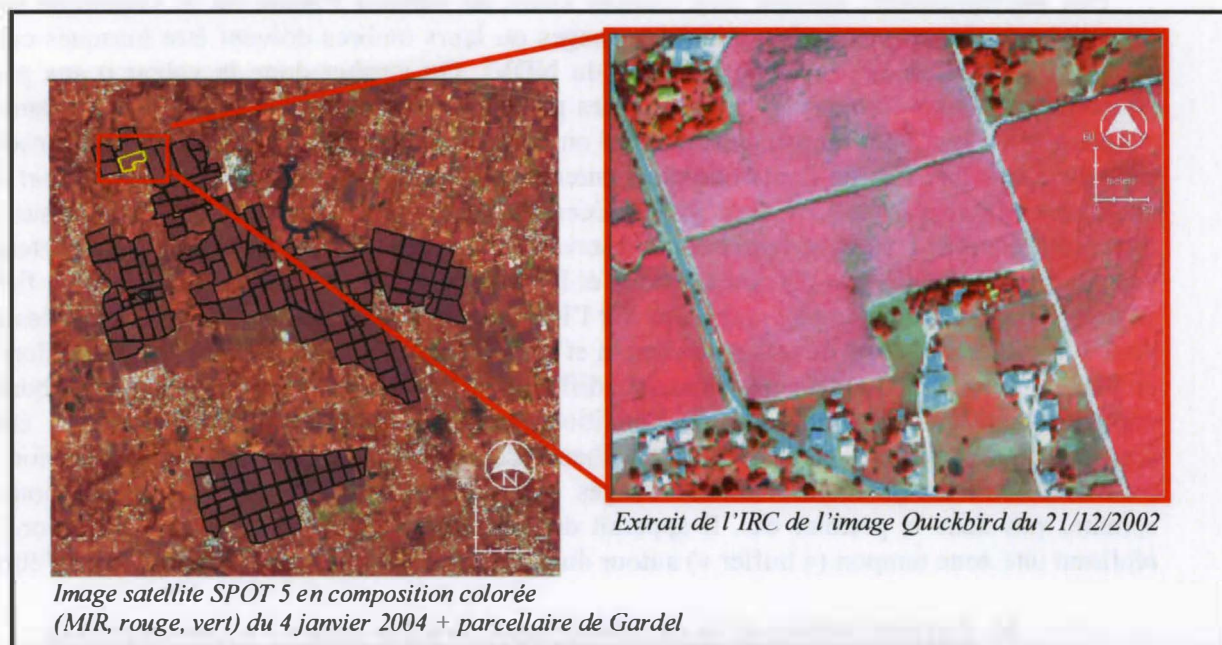


Figure 3 : localisation et aspect de la parcelle Sahara (Gardel)

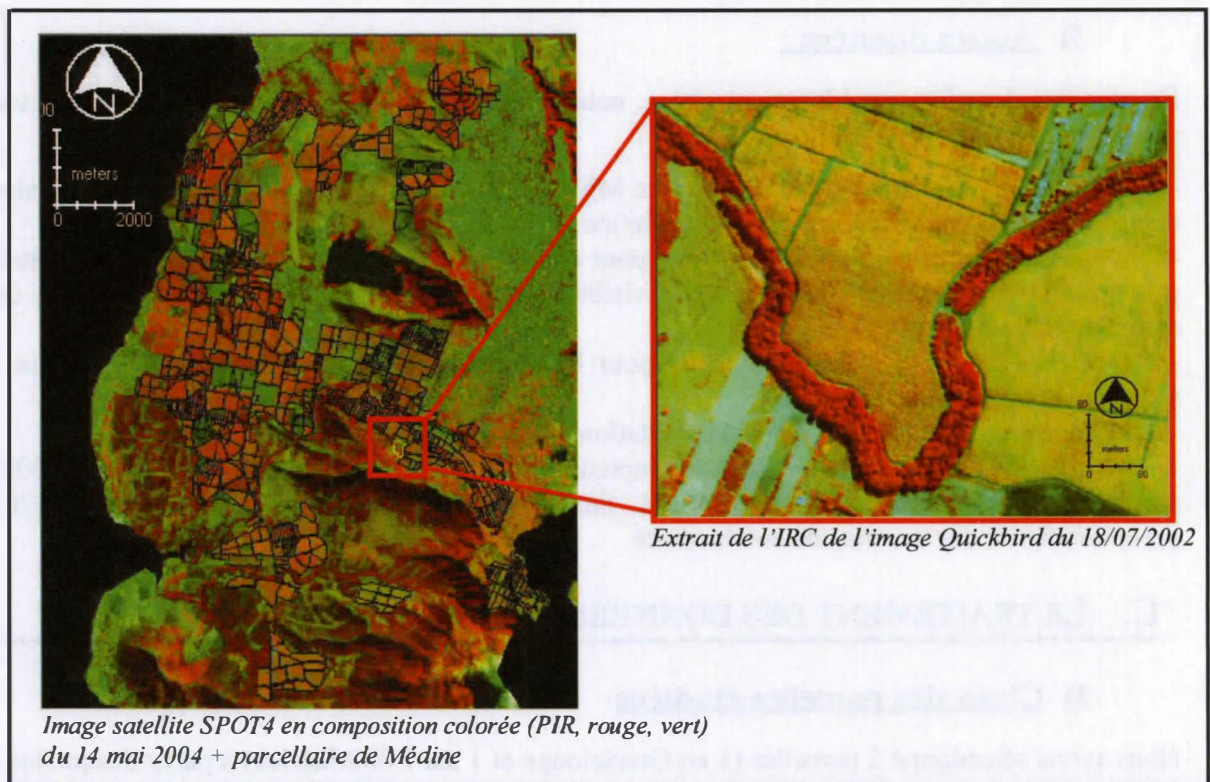


Figure 4 : localisation et aspect de la parcelle BA6503 (Médine)

2) Caractérisation de la variabilité spatio-temporelle intra-parcellaire

a) Préparation des images NDVI

Des pré-traitements doivent être réalisés avant de débiter l'étude de la variabilité intra-parcellaire à proprement parler. Ainsi les nuages ou leurs ombres doivent être masqués car ils perturbent la radiométrie et donc le calcul du NDVI. On attribut donc la valeur 0 aux pixels concernés et il faut éliminer les images où les parcelles étudiées sont sous les nuages. Dans les cas où seul un tout petit morceau est masqué on pourra re-découper la parcelle afin de conserver l'image. De même lors de l'extraction des parcelles du reste de la scène (fonction « *subset* » de Erdas à partir d'un AOI), il s'est avéré nécessaire d'éliminer les bords de parcelle sur une distance d'environ 1 pixel et demi car on observait des effets de bords. En effet, le comportement des pixels de cette zone se révélait atypique et il y a deux raisons possibles à cela : (1) le fichier vecteur du parcellaire peut être mal ajusté sur l'image NDVI, les pixels de bords de parcelles sont donc plus ou moins des « mixels » de chemin et de végétation (aucune réalité terrain) ou alors (2) on détecte un réel phénomène de croissance différente de la canne lorsqu'elle se situe en bord de parcelle et qu'elle est soumise à des conditions environnementales différentes (vents, entrée d'embruns, éclaircissement différents...). Malheureusement dans notre étude, la précision du positionnement du parcellaire sur les images n'est pas suffisante pour garantir que nous ne sommes pas dans le premier cas. Il apparaît donc important d'éliminer ces effets de bord, en réalisant une zone tampon (« *buffer* ») autour du parcellaire qui sera éliminée de la zone d'étude.

b) Caractérisation de la variabilité spatiale à une date « t » : segmentation

Une réflexion a été menée afin de déterminer quelle méthode de segmentation de l'histogramme de chaque image était la plus judicieuse pour appréhender la variabilité intra-parcellaire à un temps « t ». En effet, la visualisation des images NDVI brutes (en noir et blanc) rend difficile l'interprétation visuelle alors qu'un traitement particulier de la palette de couleur appliquée aux données permet de mettre en évidence certaines informations ou de comparer des images entre elles. Nous avons donc testé différents types de segmentation des histogrammes :

Segmentation « Equi-population à 5 classes » : cette segmentation regroupe les valeurs en quintiles, 5 classes contenant chacune environ 20% du nombre de pixels.

Segmentation « 3classes 25-50-25 » : simplification encore accrue de l'information. Sur la base d'une segmentation en quartiles (4 classes de 25% de pixels), on a agrégé les 2 classes centrales pour obtenir la répartition suivante 25% faibles NDVI, 50% moyens NDVI et 25% forts NDVI.

Segmentation « Equi-intervalle » : découpage de l'histogramme en 5 classes de même intervalle de valeur entre le minimum et le maximum.

Segmentation « Intervalle défini » : les 3 segmentations précédentes ne permettent pas de mettre en évidence différents degrés d'hétérogénéité, en terme de nombre de classes puisque celui-ci est fixé. La segmentation en intervalle défini le permet. Un intervalle de 0,05 pour les NDVI a été choisi afin de se limiter à 15 classes, sachant que le NDVI de la canne au cours de son cycle varie entre 0,1 à 0,8.

c) Etude multi-temporelle : caractérisation de la variabilité spatio-temporelle

Choix de la méthode :

Le travail réalisé dans le cadre du projet SILAT constitue une approche exploratoire de l'utilisation de séries temporelles d'images satellitaires. L'un des enjeux était donc de déterminer quelle méthode de traitement d'image permettrait d'extraire au mieux l'information n'ont pas d'une seule image mais de plusieurs, acquises à différentes dates. Ainsi trois traitements différents ont été envisagés et testés :

1) **Classifications non-supervisées (Isodata) sur le logiciel ERDAS**

Le logiciel Erdas Imagine permet de réaliser un type de classifications non-supervisée (Isodata) ; classifications qui ont pour particularité de ne pas nécessiter d'information supplémentaire (Girard and Girard,1999). L'image à classer peut comporter un nombre illimité de canaux qui peuvent être des images NDVI acquises à des dates différentes que l'on a compilées (fonction « *layer stack* » dans Erdas). Les paramètres de la classification sont les suivants : le nombre de classes désiré, arbitrairement fixé de 2 à 7, un nombre d'itérations maximal (fixé à 30) et un seuil de convergence à partir duquel la classification s'arrête (fixé à 0,99). A chaque résultat de classification, nous avons demandé que soit créé un fichier « .sig » donnant les signatures temporelles de chaque classe (figure 5).

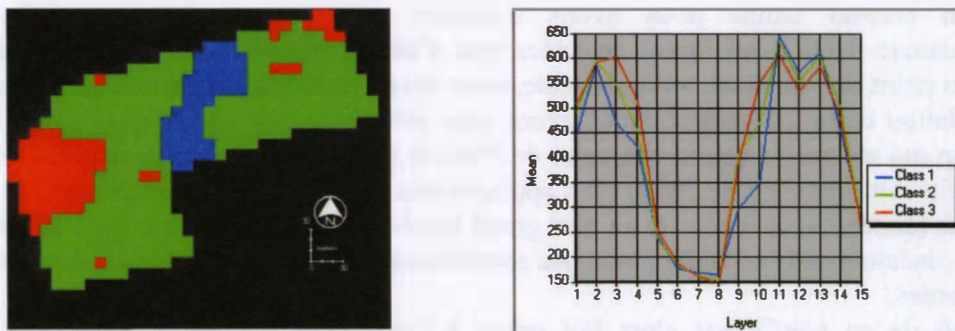


Figure 5 : résultat d'une classification non-supervisée en 3 classes sur 15 images NDVI par le logiciel Erdas et création de signatures temporelles

2) **Classifications non-supervisées sur le logiciel MZA**

Bien que le logiciel MZA (Management Zone Analyst) soit d'une utilisation plus contraignante que le logiciel ERDAS car les fichiers en entrée et en sortie sous format texte, nous avons choisi de le tester car il présente, selon ses concepteurs (Fridgen *et al.*,2004), 2 grands intérêts par rapport au logiciel Erdas :

- 1) Il propose un diagramme de décision, basé sur le calcul de statistiques descriptives, qui permettrait de définir quel algorithme sous-jacent à la classification non-supervisée doit être

utilisé : Euclidien, Diagonal ou Mahalanobis. Dans le cas de la classification ISODATA proposé par Erdas, c'est l'algorithme Euclidien qui est utilisé; selon le logiciel MZA, dans notre cas, nous devrions plutôt utiliser l'algorithme Mahalanobis (covariances>0 et variances inégales). Nous avons choisi de tester les 2 algorithmes pour voir les différences résultantes.

- 2) Il permettrait d'évaluer objectivement le nombre de classes optimal par le calcul de 2 indices de performance : le FPI (Fuzziness Performance Index) et le NCE (Normalized classification Entropy) qui doivent alors être à leur valeur minimale.

3) Réalisation d'images synthèse

Une dernière méthode, alternative aux classifications non-supervisée, a été testée : nous avons réalisé des images-synthèses pour lesquelles la valeur de chaque pixel correspond soit à la moyenne des valeurs de ce pixel sur une période donnée, soit à sa médiane, soit à l'écart-type soit encore au coefficient de variation (écart-type/ moyenne).

Ceci dans le but de voir si des zones particulières se distinguaient, si elles étaient en concordance avec les résultats des classifications ou avec toute autre donnée.

La méthodologie mise en place essentiellement par étude de la parcelle Sahara, a été ensuite appliquée à la parcelle BA6503 dans la mesure des possibilités offertes par la série d'images disponibles la concernant. Les résultats obtenus ont été ensuite confrontés aux autres données en notre possession.

Choix de la période :

Comme cela a été mentionné dans l'introduction, les facteurs potentiellement à l'origine de la variabilité d'un couvert végétal peuvent être permanents ou ponctuels dans le temps. Un des enjeux de l'étude est donc de déterminer la composante temporelle de la variabilité spatiale présente au sein d'une parcelle de canne à sucre de préjuger du type de facteurs sous-jacents.

Ainsi nous avons distingué, dans un premier temps, différentes périodes au sein de la série temporelle (étude intra-annuelle) :

- 1) L'ensemble des données
- 2) Tout un cycle cultural (de coupe à coupe)
- 3) Des phases d'un cycle cultural : phase de croissance/ phase maturation

Dans un second temps nous avons considéré des périodes d'homogénéité dans les comportements NDVI qui furent détectées tout d'abord visuellement. Ensuite, dans le but de mettre au point une méthode automatisable, nous avons testé l'utilité de calculer des coefficients de corrélation entre les images. Nous avons opté pour le coefficient de corrélation sur rang de Spearman qui est moins connu que celui de Pearson mais qui présente un double intérêt (site de l'Université Antilles Guyane, 2004) : il s'applique aux données dites non-normales, ce qui semble être le cas (annexe 4) et il détecte un plus grand nombre de corrélations car il ne se limite pas aux relations linéaires mais considère toute les corrélations dite monotones, c'est à dire croissantes ou décroissantes.

Le calcul de ce coefficient s'est fait grâce à l'extension « Xlstat » (version d'évaluation) d'EXCEL selon la méthodologie détaillée en annexe 5.

Enfin, nous avons regardé l'évolution de la variabilité spatiale sur plusieurs années (étude inter-annuelle) en comparant des images prises environ à la même date (vers le maximum annuel de NDVI) sur plusieurs années

3) Mise en relation des cartes de variabilité avec les données externes

a) Recherche de facteurs explicatifs

Les données spatialisées à notre disposition pouvant expliquer la variabilité observée sont :

-pour Sahara (Gardel) : les mesures de profondeur de sol et la topographie (MNT). Ces variables peuvent influencer le développement de la canne car elles influent sur la réserve en eau disponible, or c'est un facteur limitant en Guadeloupe.

- pour BA6503 (Médine) : la conductivité électrique qui est l'inverse de la résistivité et dont la valeur dépend de certaines propriétés du sol telles que la texture, l'humidité, la porosité, la salinité ou encore la teneur en matière organique ((Jhoty,2001; Dron,2002) et la topographie (MNT)

➤ **Préparation des données :**

Les données de profondeur de sol que nous avons sous forme de fichiers textes étaient déjà issues d'une interpolation (annexe 3) et à un pas de 10 m , nous les avons donc simplement converti en images.

Pour les données de conductivité électrique qui étaient brutes et sous forme de fichier texte, nous avons effectué une interpolation par krigeage, puis créé les cartes de conductivité. La méthodologie est détaillée en annexe 7.

➤ **Mise en relation des données :**

Par comparaison visuelle des cartes de variabilité spatiale (résultats des classifications et images de synthèse) avec les données potentiellement explicatives, ainsi que par le calcul de coefficients de corrélation de rang de Spearman, nous avons essayé de mettre en évidence quelles variables expliquaient, du moins en partie, la variabilité spatiale intra-parcellaire.

Il est à noter que pour l'étude de la parcelle Sahara, nous avons en plus utilisé des données concernant les précipitations journalières afin de comprendre des « anomalies » repérées dans la série temporelle des NDVI.

b) Données descriptives

Tout d'abord les résultats observés ont été comparés avec les images Quickbird à notre disposition qui peuvent constituer une sorte de vérité terrain pour une date donnée.

Enfin nous avons profité du fait que nous avons des données de rendement pour la parcelle BA6503 pour vérifier si les images NDVI permettaient bien de prévoir globalement les zones de forte ou faible productivité lors de la coupe. Pour cela, nous avons réalisé des cartes de rendements à partir des données ponctuelles disponibles (méthodologie détaillée en annexe 7).

III. RESULTATS

Les résultats présentés ici concernent uniquement les parcelles Sahara et BA6503, cependant des études similaires ont été réalisées sur 3 autres parcelles de Gardel et 1 autre parcelle de Médine. Ces études n'étant pas finalisées, elles feront l'objet prochainement d'une note technique à l'attention du CIRAD-AMIS ;

A. CARACTERISATION DE LA VARIABILITE INTRA-PARCELLAIRE

1) Etude monotemporelle :

Parmi les différentes méthodes de segmentation d'histogramme testées (figure 6), celles qui se révèlent les plus intéressantes sont :

- 1) la segmentation « equi-intervalle » (« Equal range » en anglais) qui est facile à appréhender par un non-spécialiste en cartographie
- 2) les segmentations « basée sur les quantiles » où chaque classe représente un pourcentage de la surface. Dans notre étude, il s'agit des segmentations « equi-population à 5 classes » et « 3 classes 25-50-25 » qui se ressemblent énormément. Leur utilisation est à première vue moins intuitive mais le principal intérêt de ce type de segmentation vient du fait qu'il fait ressortir la variabilité quelques soient les écarts de valeur existants. Cela peut d'ailleurs devenir un inconvénient car lorsque ces écarts sont très faibles la variabilité mise en évidence peut être exacerbée. Malgré cet inconvénient, nous avons privilégié cette méthode de segmentation car c'est justement la variabilité spatiale notre objet d'étude et il vaut mieux en détecter trop que pas assez ! De plus, elle permet, de réaliser des comparaisons entre images en regardant, par exemple, s'il y a des similitudes pour les 20% de surface ayant les valeurs les plus faibles.

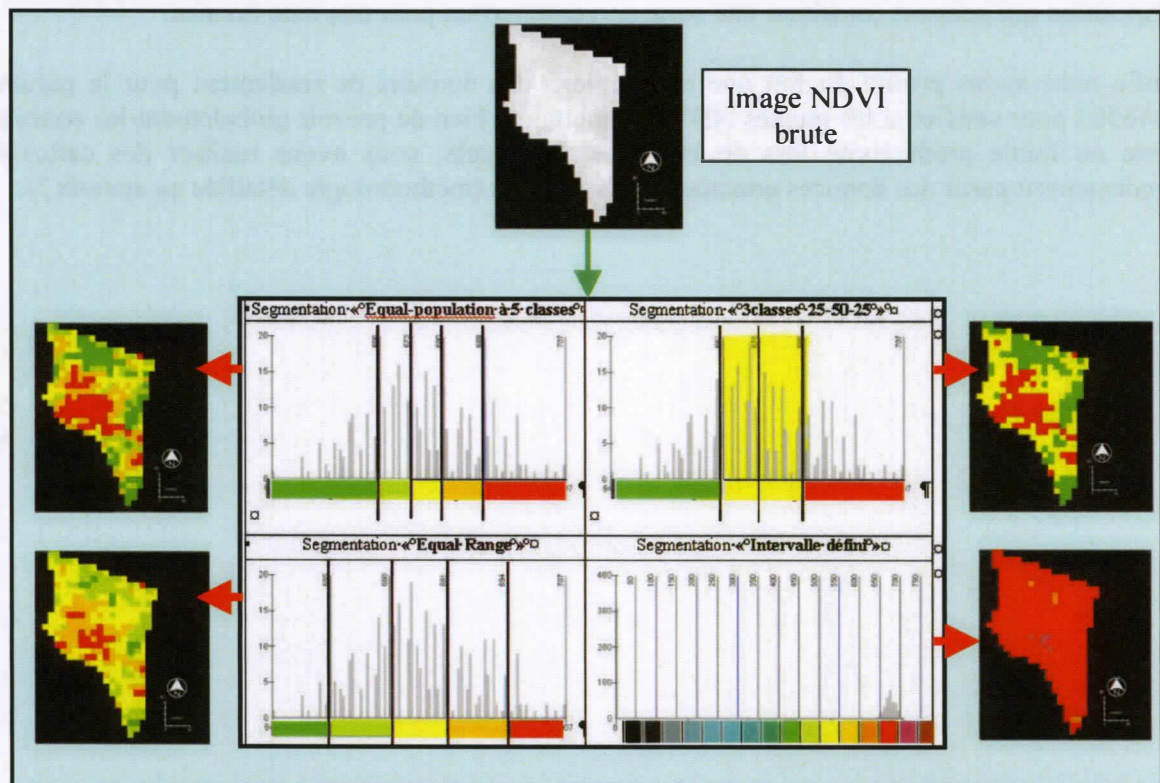


Figure 6 : Résultats des différentes segmentations d'histogramme testée sur l'image NDVI du 18/07/2002, parcelle BA6503

Par la suite, ces segmentations, nous ont permis de détecter visuellement, au sein de la série temporelle des périodes homogènes ainsi que des ruptures ou des « anomalies » (images atypiques) qu'il est intéressant d'essayer d'expliquer (figure 7). Toutefois, on se rend rapidement compte des limites d'une étude monotemporelle : la compréhension d'une image est toujours améliorée lorsqu'elle est considérée dans le contexte d'une série temporelle, de plus se baser sur une seule image fait courir le risque que celle-ci soit représentative d'un phénomène ponctuel ou seulement saisonnier. C'est ce constat qui a amené à penser qu'une analyse en multitemporelle serait plus efficace pour la caractérisation et la compréhension de la variabilité intra-parcellaire.

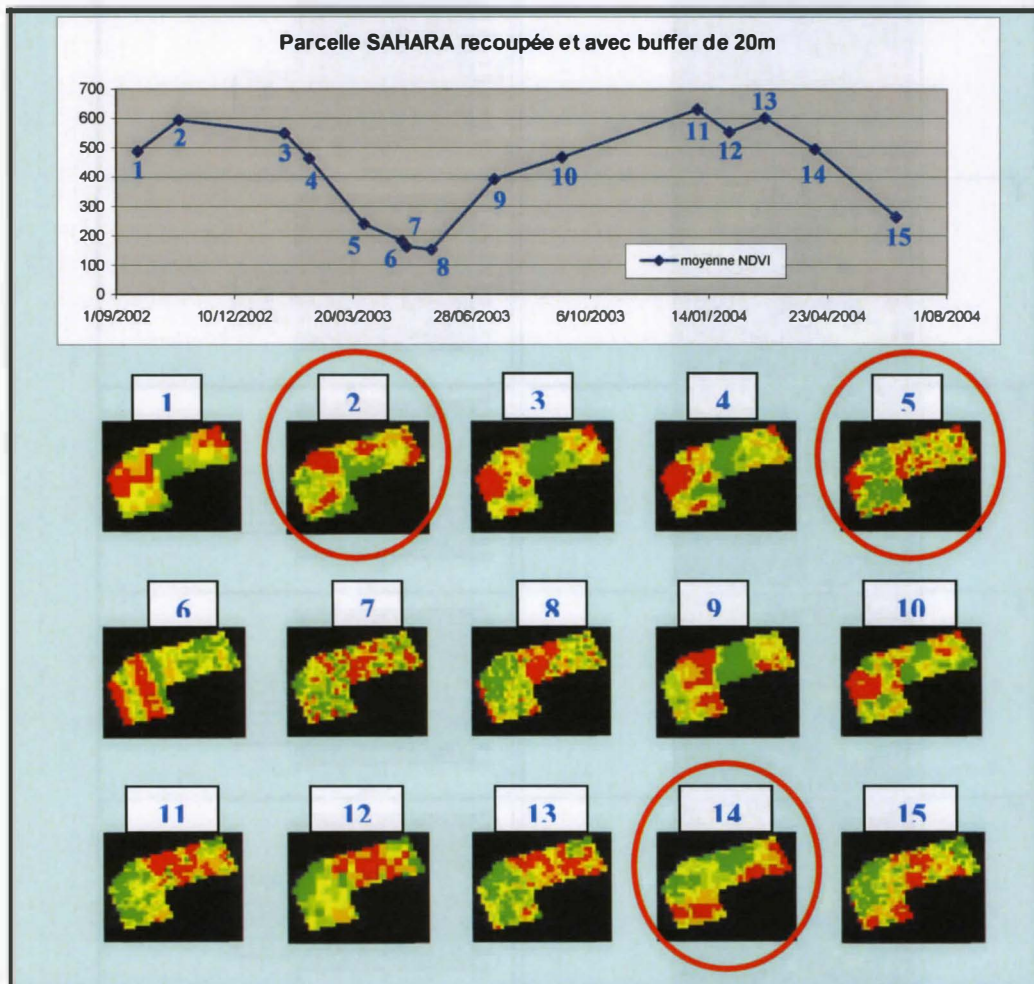


Figure 7 : Série temporelle de la parcelle Sahara après segmentation par la méthode « équi-population à 5 classes » et repérage d'images atypiques (cercleées de rouge)

2) Etude multitemporelle

Pour ce qui est du choix de la méthode à employer, il est difficile d'être catégorique car aucune n'est idéale.

1- Les classifications sur Erdas (figure 8) présentent l'avantage d'être facilement réalisées et de fournir les signatures temporelles ce qui permet d'attribuer une signification thématique à chaque classe. Par contre le choix du nombre de classes est laissé à l'appréciation de l'utilisateur et nous n'avons pas d'autre choix d'algorithme que celui de l'Euclidien..

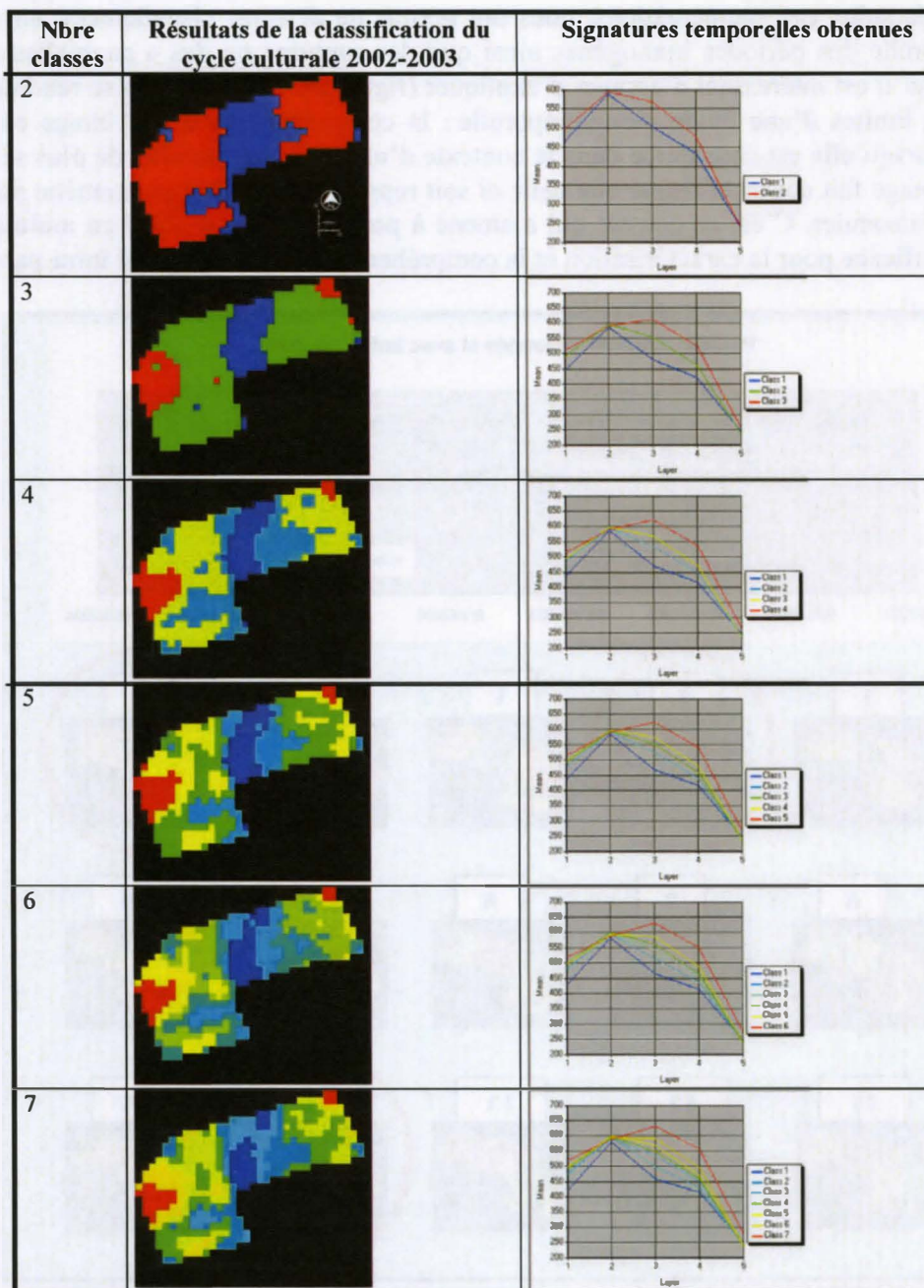


Figure 8 : Exemple de résultats obtenus par classification non-supervisée sous Erdas, cycle culturel 2002-2003 de la parcelle Sahara.

2- Les résultats concernant le logiciel MZA sont plus que réservés : comme le montre la figure 9, outre le fait, que le logiciel ne soit pas ergonomique, la détermination précise du nombre de classes optimal, qui était l'intérêt principal de la méthode, est souvent impossible, les 2 indices étant en contradiction. On remarque aussi que l'utilisation de l'algorithme Mahalanobis ou de l'Euclidien, peut beaucoup modifier les résultats et ils sont souvent moins clairs avec Mahalanobis. Enfin, dernier problème, et non des moindres : pour un même jeu de données, les résultats peuvent différer d'un essai à l'autre, il faut donc faire plusieurs essais afin de d'identifier la tendance majoritaire.

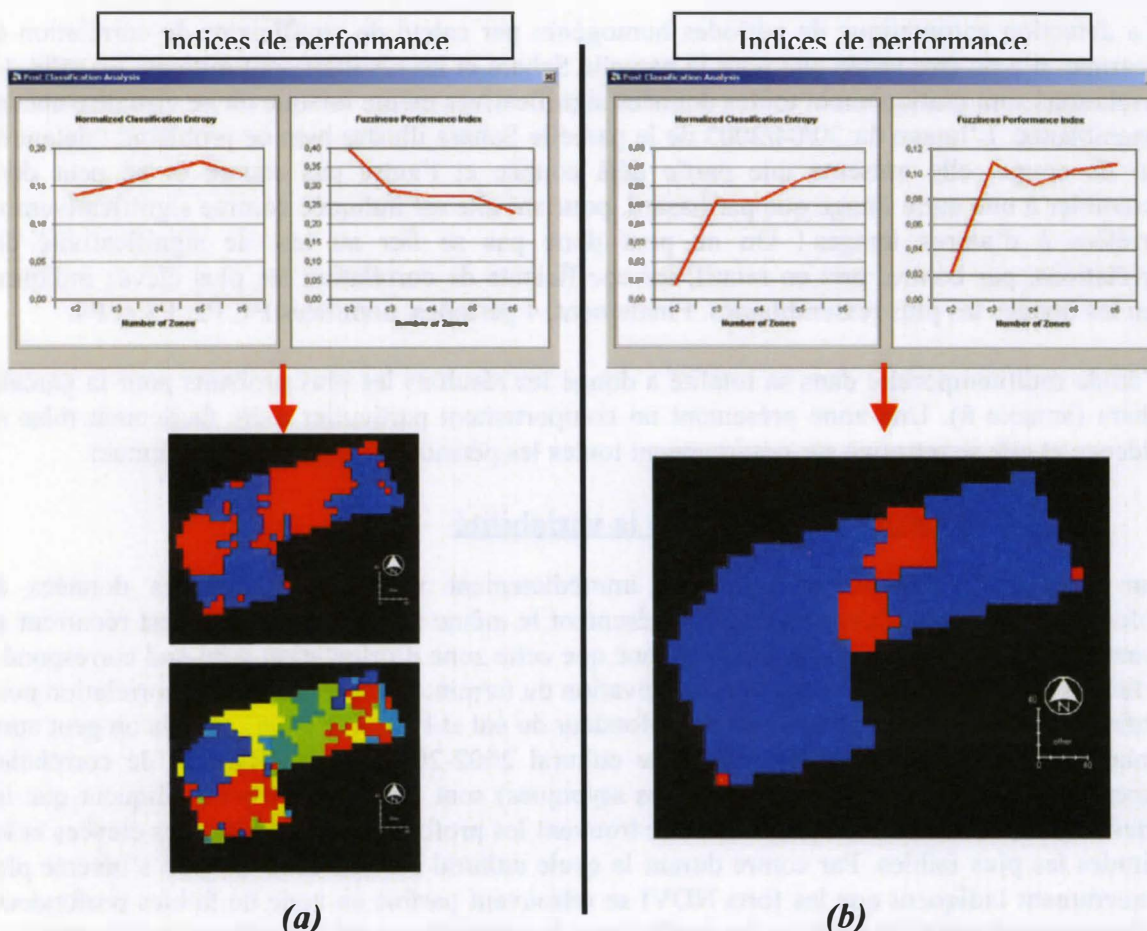


Figure 9 : résultats obtenus par le logiciel MZA, sur la parcelle Sahara pour le cycle cultural 2003-2004 **(a)** avec l'algorithme Malahanobis : pas de possibilités de conclure au nombre de classes optimal, 1^{er} indice indique 2 et le second 6 classes, **(b)** avec l'algorithme Euclidien : nombre de classes optimal de 2.

3- Les images de synthèse donnent, dans les cas étudiés, un assez bon aperçu des résultats des classifications (figure 10), avec une tendance souvent inversée entre les résultats donnés par les images de synthèse utilisant la moyenne ou la médiane et les images de synthèse utilisant l'écart-type ou le coefficient de corrélation. Mais, cette méthode nous semble trop aléatoire dans les cas où la variabilité est extrêmement changeante.

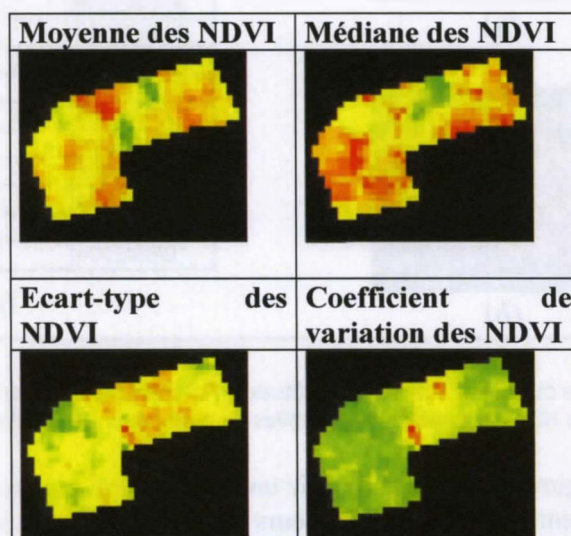


Figure 10 : images de synthèses correspondant au cycle 2003-2004 de la parcelle Sahara.

- La détection automatique de périodes homogènes par calcul de coefficients de corrélation de Spearman n'a pu être testée que pour la parcelle Sahara et les résultats sont mitigés. En effet, les corrélations sont pratiquement toutes données significatives même lorsque on ne visualise aucune ressemblance. L'image du 30/04/2003 de la parcelle Sahara illustre bien ce problème : datant du jour de coupe, elle présente une partie déjà coupée et l'autre pas encore et ne peut donc ressembler à une autre image que par hasard, pourtant elle est indiquée comme significativement corrélées à d'autres images ! On ne peut donc pas se fier au test de significativité des corrélations, par contre, pris en relatif, les coefficients de corrélation les plus élevés indiquent bien les images les plus ressemblantes. Finalement, 4 périodes, nommées P1, P2, P3 et P4.

- l'étude multitemporelle dans sa totalité a donné les résultats les plus probants pour la parcelle Sahara (annexe 8). Une zone présentant un comportement particulier a été facilement mise en évidence et elle se retrouve sur pratiquement toutes les périodes et même en inter-annuel.

3) Les facteurs explicatifs de la variabilité

Pour la parcelle Sahara, on remarque immédiatement visuellement que les données de profondeurs de sol et d'altitude (MNT) présentent le même motif que celui qui est récurrent au niveau des NDVI (figure 11). Il apparaît donc que cette zone d'orientation nord-sud correspond à de faibles profondeurs de sol et à une surélévation du terrain. Les coefficients de corrélation nous confirment la relation négative entre la profondeur du sol et l'altitude (-0,573) mais on peut aussi remarquer que durant la période du cycle cultural 2002-2003, les coefficients de corrélation (exceptés ceux correspondant à des images atypiques) sont les plus élevés et indiquent que les fortes valeurs de NDVI sont situés là où se trouvent les profondeurs de sol les plus élevées et les altitudes les plus faibles. Par contre durant le cycle cultural suivant cette relation s'inverse plus fréquemment indiquent que les forts NDVI se retrouvent parfois en zone de faibles profondeurs (et inversement pour l'altitude) et les coefficients de corrélation sont globalement moins élevés.

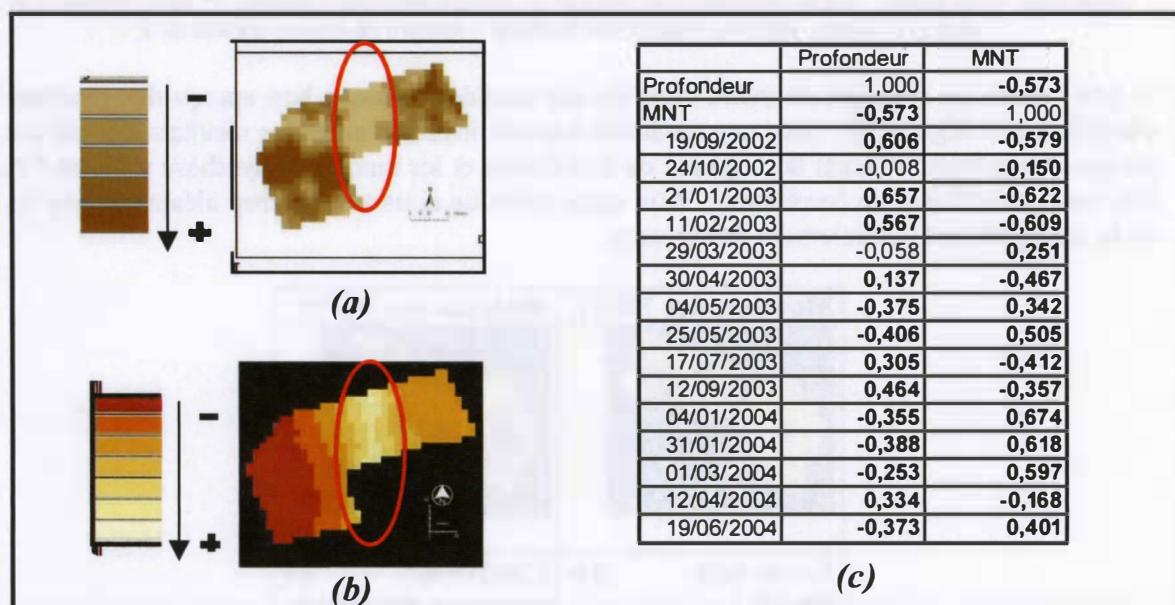


Figure 11 : (a) profondeurs du sol sur Sahara, (b) altitudes, (c) coefficients de corrélation de Spearman entre les valeurs de NDVI de chaque image, celles de profondeur de sol et celles du MNT

L'étude de la figure 12, semble fournir une explication cohérente sur les changements de signe des corrélations entre NDVI, profondeurs de sol et altitude. On remarque que le cycle cultural 2002-2003 est caractérisé par des conditions climatiques particulièrement sèches qui ont certainement demandé aux végétaux de puiser dans la réserve en eau du sol. Ainsi, aux endroits

où la profondeur du sol est faible (zones surélevées qui ont été érodées), cette réserve est limitée et les végétaux ont pu être stressés, ce qui s'est traduit par une croissance moindre et donc des NDVI plus faibles. Par contre le cycle cultural suivant, on le voit, a été beaucoup plus pluvieux, le facteur hydrique n'est donc plus déterminant ou alors il agit peut être de façon inverse : les zones les plus en hauteur (donc avec sol plus mince) sont été un peu protégées de l'excès d'eau et se sont mieux développées que celles en contrebas. Voici une explication possible de l'inversion des signes des corrélations en 2003-2004 par rapport à 2002-2003.

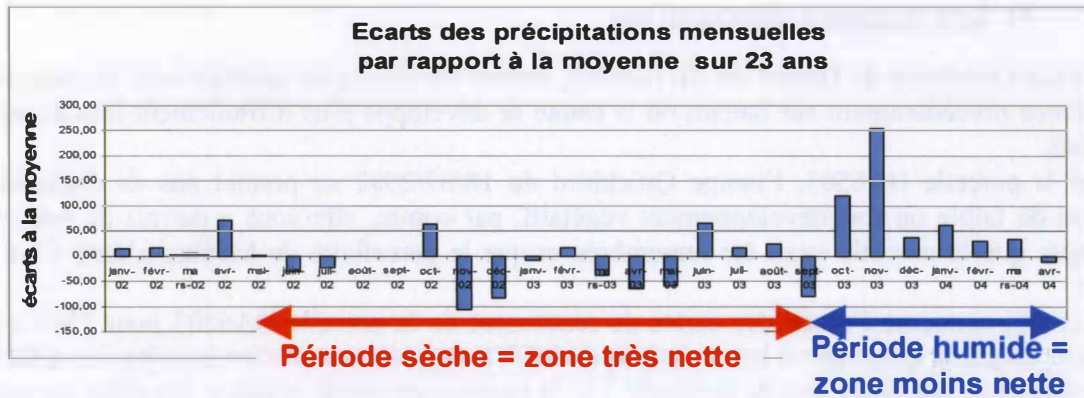


Figure 12 : Ecart des précipitations mensuelles de janvier 2002 à avril 2004 par rapport à la moyenne sur 23 ans sur la plantation de GARDEL.

Pour la parcelle BA6503, les résultats sont moins probants (figure 13) : les coefficients de corrélation calculés entre les valeurs de NDVI et les mesures de conductivité et d'altitude sont plus faibles et on n'arrive pas à identifier visuellement de zones caractéristiques communes à plusieurs données.

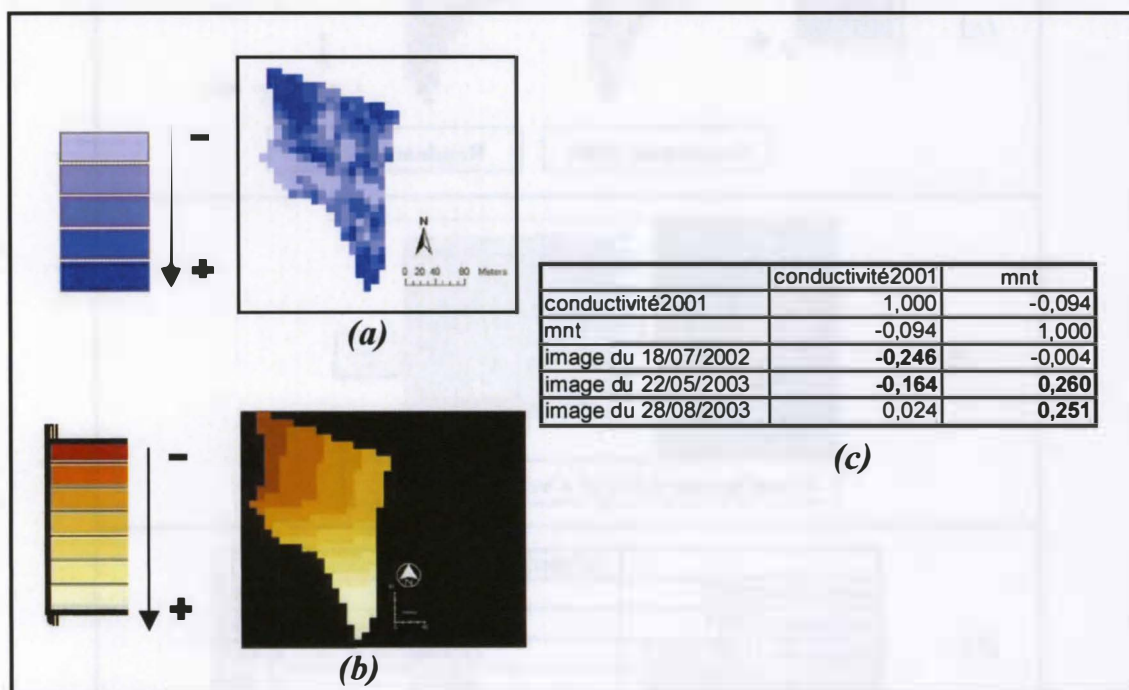


Figure 13 : (a) conductivité électrique des sols, (b) altitude, (c) coefficients de corrélation de Spearman entre les valeurs de NDVI de chaque image, celles de la conductivité électrique des sols et celles du MNT

a) Explication d'anomalies

Les données annexes nous ont aussi permis d'expliquer des anomalies ponctuelles repérées dans la série temporelle de la parcelle Sahara. Ainsi en étudiant le graphique des précipitations journalières du mois d'octobre 2002, il semblerait que l'image du 24/10/2002 serait atypique du fait que 2 jours auparavant un événement pluvieux (45 mm) aurait modifié transitoirement la structure de la végétation, visible par satellite.

4) Les données descriptives

L'image Quickbird de Gardel du 21/12/2002, permet de distinguer parfaitement la zone mise en évidence précédemment sur Sahara où la canne se développe plus difficilement lors de périodes sèches.

Pour la parcelle BA6503, l'image Quickbird du 18/07/2002 ne permet pas de distinguer des zones de faible ou fort développement végétatif, par contre, elle nous a permis de nous rendre compte que la parcelle avait été remembrée et que le parcellaire de Médine n'était donc pas à jour.

En ce qui concerne l'étude des cartes de rendement de la parcelle BA6503 pour 2001 et 2003 (figure 14), à la question : « les variations de NDVI observées sont-elles le reflet des différences de rendement mesurées lors de la récolte ? », la réponse est plutôt positive. En effet, on retrouve, visuellement, approximativement la même zone de fortes valeurs au niveau de la pointe sud de la parcelle pour les rendements 2003 et la classification des 2 images prises cette même année. Les coefficients de corrélation entre images NDVI et rendements ne sont pourtant pas bons, surtout pour l'année 2003. La corrélation entre les 2 années de rendement est elle aussi faible (0,167).

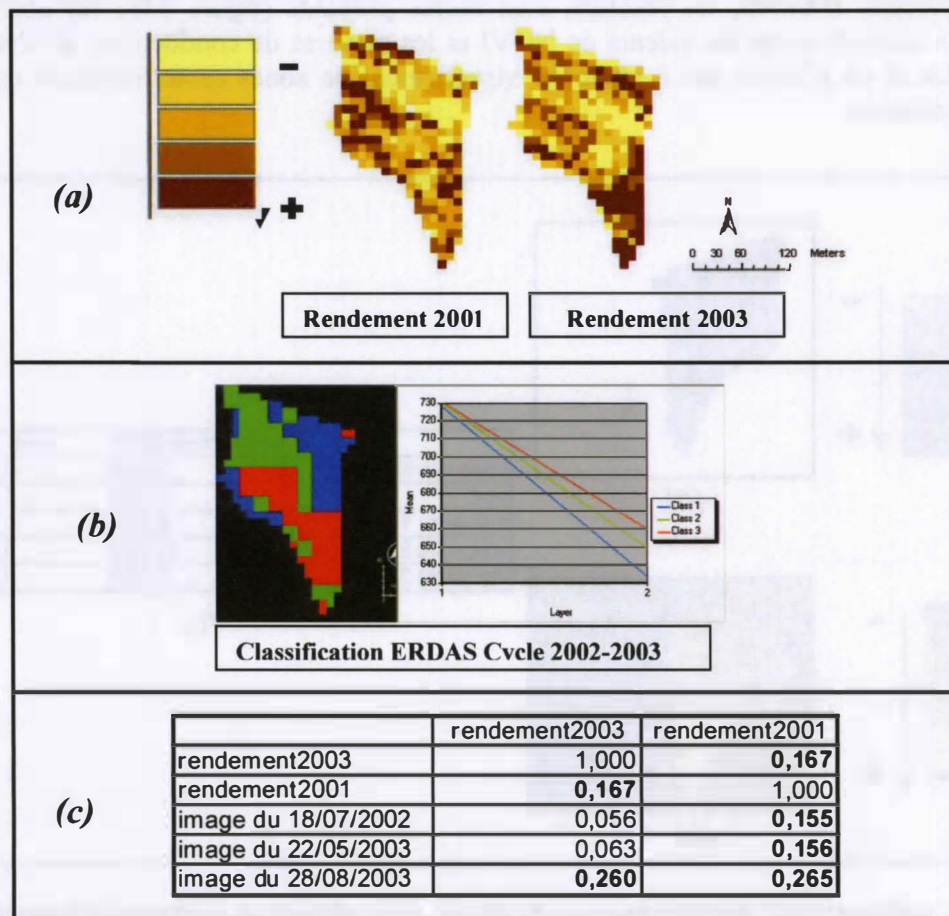


Figure 14 : (a) données de rendements, parcelle BA6503, (b) résultats de classifications, (c) coefficients de corrélation de Spearman entre NDVI et rendements

IV. SYNTHESE ET DISCUSSION

L'étude monotemporelle peut se révéler intéressante lorsque l'on veut caractériser la variabilité intra-parcellaire à un moment précis : après un cyclone, une attaque parasitaire, un incendie, à une date-clé.... Par contre, faire des généralités à partir de résultats obtenus d'une seule image satellitale est dangereux car la variabilité mise en évidence peut être atypique et transitoire. La segmentation par « equi-population » des histogrammes semble être la plus indiquée dans l'étude de la variabilité spatiale de la canne à sucre. En effet, une des caractéristiques les plus importantes de cette culture réside dans le fait, qu'à un instant « t », chaque parcelle peut se trouver à un stade cultural différent, d'où la difficulté de pouvoir comparer rapidement leur variabilité intra-parcellaire. Avec cette méthode de segmentation, on s'affranchit des valeurs numériques et on ne réfléchit plus qu'en relatif : « Où se trouvent les 20 % de surfaces présentant les plus faibles NDVI ? Sont-ils toujours localisés au même endroit ? si oui pourquoi ? »

Une étude multitemporelle permet, quant à elle, de détecter une variabilité intra-parcellaire présente à plus ou moins long terme selon la période considérée. Les résultats obtenus lors de la réalisation de ce projet sont encourageants. Ainsi pour la parcelle Sahara, on a pu mettre en évidence une zone qui se dégage très nettement, qui est constante dans le temps et qui est caractérisée par des valeurs de NDVI faibles en période sèche et plutôt fortes en période humide. Elle correspond à une zone surélevée où la profondeur de sol est plus faible, sûrement à cause d'un phénomène d'érosion ; la réserve hydrique à cet endroit doit être faible ce qui implique l'apparition de conditions stressantes pour la canne à sucre lorsque les précipitations manquent et se traduit par des problèmes de croissance. Le facteur hydrique et indirectement le facteur topographique semblent donc, dans ce cas, déterminer l'essentiel de la variabilité spatiale de la canne à sucre mise en évidence. Sachant qu'en Guadeloupe, il a été démontré que le stress hydrique constitue la principale limitation au développement de la canne (Catsidonis, 2003), ces conclusions sont tout à fait réalistes.

Les résultats concernant la parcelle BA6503, située sur l'île Maurice, sont quant à eux moins probants. Si on se fie aux premiers résultats précédents obtenus sur Sahara, le fait que la parcelle soit irriguée, pourrait expliquer les faibles relations qui ont été observées. En effet, la disponibilité en eau n'est alors plus un facteur limitant et donc la variabilité intra-parcellaire peut être diminuée ou sans réelle conséquence sur le rendement. L'irrigation peut aussi expliquer la mauvaise corrélation entre la variabilité du couvert et la conductivité électrique du sol car cette mesure dépend d'un grand nombre de paramètres physiques du sol (porosité, teneur en matière organique, profondeur de la couche arable, salinité...) qui ont pour effet global d'influer sur la capacité de rétention en eau du sol. Ainsi les effets de cette variable sur la croissance ou sur le rendement devraient être significatifs qu'en cas de pénurie d'eau ce qui n'est pas le cas lorsque l'on irrigue la culture. Enfin, une dernière explication probable : la série temporelle à notre disposition était trop restreinte (3 images exploitables seulement) pour permettre de caractériser correctement la variabilité, les résultats ne sont donc peut-être pas représentatifs du comportement normal de la végétation. Cette faiblesse en images NDVI exploitables est d'autant plus regrettable que des données de rendement étaient à notre disposition et auraient pu servir à déterminer si des périodes-clés reflétaient au mieux les rendements obtenus lors de la coupe.

En ce qui concerne les 3 méthodes utilisées pour caractériser la variabilité intra-parcellaire, elles donnent des résultats comparables mais aucune ne semble totalement satisfaisante dans l'optique de mettre au point une méthodologie applicable à grande échelle, sur de nombreuses parcelles.

De plus, l'utilisation de méthodes géostatistiques telles que l'étude des semi-variogrammes pourraient améliorer la méthode car le calcul de coefficients de corrélation tels que celui de Spearman pour quantifier l'adéquation entre 2 cartes présente de sérieuses limites : les tests de significativité des corrélations sont faux car les données sont autocorrélées spatialement (communication personnelle, Bailly 2004). De plus ce type de calcul ne tient absolument pas compte du voisinage donc un simple décalage entre les images qui ne serait-ce que d'un pixel peut induire un coefficient de corrélation médiocre alors que la corrélation existe réellement.

V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le premier objectif de ce projet, qui s'inscrit dans une volonté de mise en œuvre opérationnelle du concept d'agriculture de précision pour la canne à sucre, était d'élaborer une méthodologie de caractérisation de la variabilité intra-parcellaire du couvert végétal à partir de séries temporelles d'images satellitales SPOT. Après avoir tester différentes méthodes de segmentations d'histogrammes pour l'étude monotemporelle, image par image, qui s'est révélée nécessaire pour bien appréhender les données, l'étude a consisté à tester différents traitements susceptibles de permettre une étude multitemporelle. Cette démarche consistant à extraire l'information d'une série chronologique d'images plutôt que d'une seule image, est actuellement encore largement exploratoire, aucune bibliographie n'y faisant référence pour l'étude de la végétation. Nous avons donc tester 3 méthodes différentes (1) classifications non-supervisées par le logiciel Erdas avec création de signatures temporelles, (2) classifications non-supervisées avec choix de l'algorithme et calcul d'indices permettant de définir le nombre de classes optimal avec un logiciel appelé MZA (Managment Zone Analyst) et (3) création d'images-synthèse. Chacun de ces 3 traitements s'est révélé apte à caractériser la variabilité intra-parcellaire à partir de séries temporelles mais chacun ayant ses points faibles ce n'est qu'en les associant entre eux ou avec des données externes qu'on peut acquérir une relative certitude de la validité des résultats.

Le second objectif consistait à comprendre l'origine de cette variabilité intra-parcellaire. Nous avons donc répertorié les facteurs susceptibles d'avoir des effets permanents ou non sur la croissance de la canne, nous avons récupéré le maximum de données s'y rapportant, si possible sous forme de cartes et nous avons tenté d'établir, de quantifier les relations existantes.

Une des deux parcelles étudiées, située en Guadeloupe, présente une variabilité spatiale très nettement dépendante du facteur hydrique. Pour l'autre parcelle, situé à l'île Maurice, les facteurs en cause n'ont pas pu être identifiés. Il est bien sûr prématuré de faire des généralités uniquement à partir de l'étude de 2 parcelles, mais les résultats obtenus sont encourageants, c'est pourquoi d'autres parcelles présentant des caractéristiques différentes sont déjà en cours de d'étude. Néanmoins, il faut avoir conscience qu'actuellement la méthode demande un investissement en temps trop important pour être généralisable à l'ensemble des parcelles d'une plantation et qu'elle n'est donc pas opérationnelle. La prochaine étape va donc tout d'abord consister à présenter ses premiers résultats aux utilisateurs potentiels de cartes de variabilité intra-parcellaire afin qu'ils nous fassent part de leurs avis et de leur intérêt concernant la méthode.

Bibliographie

- Barnes, E. M., *et al.* (2003). "Remote- and ground-Based sensor techniques to map soil properties." *PE&RS* **69**(6): 619-630.
- Bégué, A., *et al.* (2004). "Application of remote sensing technology to monitor sugar cane cutting and planting in Guadeloupe (French West Indies)."
- Bégué, A., *et al.* (2003). Analyse de l'existant et des besoins des utilisateurs à Maurice, La Réunion, et Guadeloupe. rapport d'étape SUCRETTE, avril 2003, 36 pp
- Prendre en compte l'hétérogénéité des parcelles, *Perspectives agricoles*, **222**: 20-22.
- Hétérogénéités : comment les déceler ?, *Perspectives agricoles*, **222**: 14-19.
- Brisco, B., *et al.* (1998). "Precision agriculture and the role of remote sensing : a review." *Canadian Journal of Remote Sensing* **24**(3): ?
- Catsidonis, S. (2003). Caractérisation de la production cannière par télédétection. Université Paris VII. DESS "Gestion des systèmes agro-sylvo-pastoraux en zone tropicale". 60 p.
- Catsidonis, S. (2004). Méthodologie de mesures de profondeur de sol en Guadeloupe. Rapport interne CIRAD Guadeloupe, 3 p
- La géomatique appliquée à l'agriculture de précision, *Publication Vu* 067.
- Precision agriculture : an introduction, consulté le 16/06/04,
<http://www.fse.missouri.edu/mpac/pubs/wq0450.pdf>
- Dron, C. (2002). Expertise agronomique dans le cadre de l'agriculture de précision-Conditions de faisabilité et contributions méthodologiques à sa mise en oeuvre. Rapport professionnel. Mastère SILAT, Novembre 2002, 21 p.
- Fridgen, J. J., *et al.* (2004). "Management Zone Analyst (MZA) : software for subfield management zone delineation." *Agron.J.* **96**: 100-108.
- Girard, M. C. and C. Girard (1999). Traitement des données de télédétection. Dunod, 529 p
- Guénette, C. (2003). Evaluation du potentiel de l'infrarouge spectral pour la détection hâtive du stress nutritif des les végétaux de grandes cultures. Faculté des études supérieures de l'Université Laval,
- L'enjeu français de l'agriculture de précision - Hétérogénéité parcellaire et gestion des intrants, consulté le 22/04/04,
<http://www.inra.fr/actualites/DOSSIERS/DOC/agrip/dosagp1.pdf>
- Jackson, R. D. (1984). "Remote sensing of vegetation characteristics for farm management." *SPIE* **475**: 81-96.
- Jhoty, I. (2001). La cartographie de rendement : une approche stratégique pour améliorer la production. Mauritius Sugar industry Research Institute (MSIRI), 30 octobre 2001, 22 p.

Precision agriculture- Perspectives for the mauritian sugar industry, consulté le 08/06/04,
<http://www.uom.ac.mu/Faculties/foa/AIS/AMAS98/DOCS99/11%20PreciAgriculture.doc>

Agriculture de précision, consulté le 23/04/04,
http://res2.agr.gc.ca/ecorc/section3/precision_e.htm

Memento de l'agronome (1991). Ministère de la coopération et du développement. 4ème édition.
Paris, 1635 p.

Neményi, M., *et al.* (2003). "The role of GIS and GPS in precision farming." *Computers and electronics in agriculture* **40**: 45-55.

Sheffield, C. (1985). "Selecting band combinations from multispectral data." *Photogrammetric engineering and remote sensing* **51**(6): 681-687.

site de l'Université Antilles Guyane, consulté le 15/08/2004,
<http://calamar.univ-ag.fr/uag/staps/cours/stat/stat.htm>

Site de SATSHOT, consulté le 15/06/2004,
www.satshot.com

Site sur FARMSTAR, consulté le 15/06/2004,
www.spotimage.fr/55_138_621_.php

Quels enjeux pour l'agriculture de précision, *Perspectives agricoles*. **222**: 4-7.

Thomas, *et al.* (1999). The development of remote sensing based products in support of precision agriculture '99. Sheffield academic Press: 191-200.

Wang, M. (2001). "Possible adoption of precision agriculture for developing countries at the threshold of the new millennium." *Computers and electronics in agriculture* **30**: 45-50.

Wood, G. A., *et al.* (2003). "Calibration methodology for mapping within-field crop variability using remote sensing." *Biosystems engineering* **84**(4): 409-423.

Zhang, N., *et al.* (2002). "Precision agriculture- a worldwide overview." *Computers and electronics in agriculture* **36**: 113-132.

Annexe 1

Caractéristiques de la série temporelle d'images pour la Guadeloupe

GUADELOUPE		Date	Satellite (capteur)	Niveau	Incidence R(°)	Soleil (elevation)	Azimuth N	Qualité	Orientation angle	Diff. Azimutale	Angle phase	XS1	XS2	XS3	XS4
Image QuickBird		21/12/2002	P et XS	2a	OK										
Archive SPOT		11/12/1999	4 (1)	2a	-29,7	45,2	150,5	OK	8	52,5	34,0	0,7090	1,2881	0,8590	9,0180
1	Prog SPOT	12/07/2002	5 (2)	2a	-5,3	69,8	70,0	PIR saturé/MIR saturé	74,0	-94,0	21,2	2,4325	2,4571	4,2000	15,0177
2	Prog SPOT	19/09/2002	4 (2)	2a	6,9	67,2	127,8	OK	9,3	-151,5	29,0	1,3545	1,7627	1,2735	8,1911
3	Prog SPOT	24/10/2002	5 (2)	2a	-6,8	52,1	143,3	OK (Read block error)	73,8	-20,5	31,7	1,3828	1,7646	2,4352	8,8875
4	Prog SPOT	06/12/2002	4 (1)	2a	5,9	47,2	155,9	OK	9,3	-123,4	46,3	1,4329	1,8185	1,2457	9,0435
5	Prog SPOT	21/01/2003	5 (2)	2a	-16,5	46,7	145,7	Brume	12,41	43,3	32,9	1,0410	1,3438	1,7671	6,8353
6	Prog SPOT	11/02/2003	5 (2)	2a	-23,5	50,1	138,5	OK	12,2	36,3	24,5	1,0032	1,2995	1,8358	8,3357
7	Prog SPOT	29/03/2003	5(2)	2a	7,0	66,3	122,2	OK	12,95	-160,7	30,4	1,0032	1,2995	1,8358	8,3357
8	Prog SPOT	30/04/2003	5 (1)	2a	-23,5	66,9	91,7	OK	12,2	-10,4	4,6	1,0805	1,2653	1,8716	8,3337
9	Prog SPOT	04/05/2003	5 (1)	2a	22,1	74,7	90,1	OK	13,3	-193,2	37,1	1,0805	1,2653	1,8716	8,3337
10	Prog SPOT	25/05/2003	5 (1)	2a	14,6	73,4	71,5	OK	13,2	-211,6	30,0	1,0805	1,2653	1,8716	8,3337
11	Prog SPOT	17/07/2003	5 (1)	2a	-25,1	66,5	73,2	OK	12,2	-29,0	11,9	1,0805	1,2653	1,8716	8,3337
	Prog SPOT	17/07/2003	4 (2)	2a	27,5	72,4	69,8	Erreur SI	10,1	-210,3	43,5	1,3545	1,7627	1,2735	8,1911
12	Prog SPOT	12/09/2003	5 (1)	1a	-17,6	66,3	117,3	OK	12,4	14,9	8,0	1,0805	1,2653	1,8716	8,3337
13	Prog SPOT	15/11/2003	4 (1)	2a	-24,8	50,7	150,6	OK	8,2	52,4	30,2	1,4329	1,8185	1,2457	9,0435
14	Prog SPOT	04/01/2004	5 (1)	1a	-2,2	45,9	151,0	OK	12,7	48,4	42,7	1,0805	1,2653	1,8716	8,3337
15	Prog SPOT	31/01/2004	4 (1)	1a	13,4	50,2	146,9	OK	9,5	-132,6	49,7	1,4329	1,8185	1,2457	9,0435
16	Prog SPOT	01/03/2004	5 (1)	1a	5,8	57,4	135,5	OK	12,9	-147,4	37,5	1,0805	1,2653	1,8716	8,3337
17	Prog SPOT	12/04/2004	5 (1)	1a	-10,5	67,9	107,4	OK	12,6	4,9	11,7	1,0805	1,2653	1,8716	8,3337
18	Prog SPOT	27/04/2004	5 (1)	1a	13,3	72,9	95,6	OK	13,2	-187,6	30,4	1,0805	1,2653	1,8716	8,3337
19	Prog SPOT	19/06/2004	5 (1)	1a	-24,9	67,0	68,0	OK	12,2	-34,2	13,8	1,0805	1,2653	1,8716	8,3337

image inexploitable pour notre étude
 image exploitable

Annexe 2

Caractéristiques de la série temporelle d'images pour l'île Maurice

											Coefficients étalonnage absolu (W-1 et 2 et 3)			
MAURICE	Date	Satellite (capteur)	Niveau	Visée R=(-)	Soleil (elevation)	Azimuth	Qualité	Orientation angle	Diff. Azimutale	Angle phase	XS1	XS2	XS3	XS4
Image QuickBird 18/07/2002 P et XS OK														
Archive SPOT	23/06/1998	4 (1)	2a	-13,1	38,5	33,1	PIR saturation	9,9	-66,8	47,5	4,2175	4,9148	4,7820	18,6331
Archive SPOT	11/05/1998	4 (1)	2a	2,5	45,0	34,0	OK	?			2,4485	2,9328	1,9495	13,1088
Archive SPOT	06/07/2000	4 (1)	2a	-26,8	37,8	36,0	PIR saturation/MIR lignes	10,5			3,5045	4,2639	2,8662	30,5109
1	Prog SPOT	18/07/2002	5 (2)	1a	20,9	39,2	OK	-43,44	-189,9	71,5	1,3828	1,7846	1,3295	11,5501
2	Prog SPOT	25/12/2002	5 (1)	2a	-24,2	69,4	OK	-43,17	58,17	20,9	1,9358	2,2454	1,8086	8,6810
3	Prog SPOT	22/05/2003	4 (2)	1a	-13,4	41,8	OK	9,9	-65,5	43,9	0,9036	1,76272	1,90685	8,19106
4	Prog SPOT	28/08/2003	4 (1)	1a	17,5	51,6	OK	8,5	-238,8	49,4	0,9630	1,8185	1,8664	9,0435
5	Prog SPOT	14/11/2003	4 (2)	1a	17,2	71,4	OK	8,5	-192,4	35,6	0,9036	1,7627	1,9069	8,1911
6	Prog SPOT	09/01/2004	5 (1)	1a	10,0	65,53	OK	12,41	-183,73	34,5	1,9791	2,3189	1,8716	10,8357
7	Prog SPOT	17/03/2004	5 (1)	1a	-5,4	58,38	OK	13,19	-43,74	29,9	1,9791	2,3189	1,8716	10,8357
8	Prog SPOT	14/05/2004	4 (2)	1a	17,2	45,2	OK	8,5	-247,4	53,3	0,9036	1,7627	1,9069	8,1911
image inexploitable pour notre étude														
image exploitable														

Annexe 3

Méthodologie des mesures de profondeur de sol

1) Données récoltées sur le terrain

La profondeur est déterminée par la **méthode de résistivité électrique**. Elle permet de définir la distribution des matériaux constitutifs des sols grâce à leur contraste de résistivité : 3 Ωm pour l'argile gonflante contre 15 Ωm pour le calcaire (Cabidoche, 1985).

Les mesures de résistivité ρ d'une couche de sol est obtenue en implantant 4 électrodes alignées A, M, N et B et en faisant passer un courant via les électrodes extrêmes A et B (**Figure 1**).

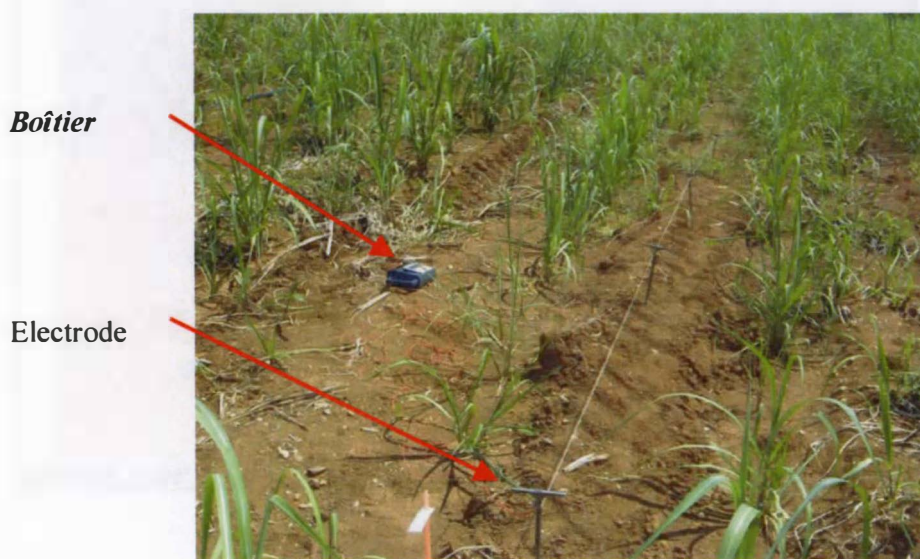


Figure 1 : Dispositif d'implantation des 4 électrodes et du branchement au boîtier de mesure.

Les électrodes M et N du milieu interceptent les lignes de courant entre A et B considérées comme étant les surfaces équipotentielles à des plans parallèles. (J.M. Remond 2002).

Dans la méthode de Wenner, où $AM=MN=NB=a$

$$\rho = 2\pi \cdot a \cdot R$$

où ρ est la résistivité lue

a est la distance en mètre entre les électrodes

R est la résistance de la couche en ohm

La résistivité est lue directement sur le boîtier .

La valeur de $a = 2\text{m}$ se révèle discriminante (J.M.Remond 2002).

La détermination de la profondeur du sol se détermine par la formule :

$$Z = 2 \cdot 0,74 \ln(\rho - 3)$$

Où z est la profondeur du sol en m

2) Traitements des données

On procède à une interpolation tous les 10 m pour cela corresponde à la résolution des pixels de l'image satellite à savoir 10 m.

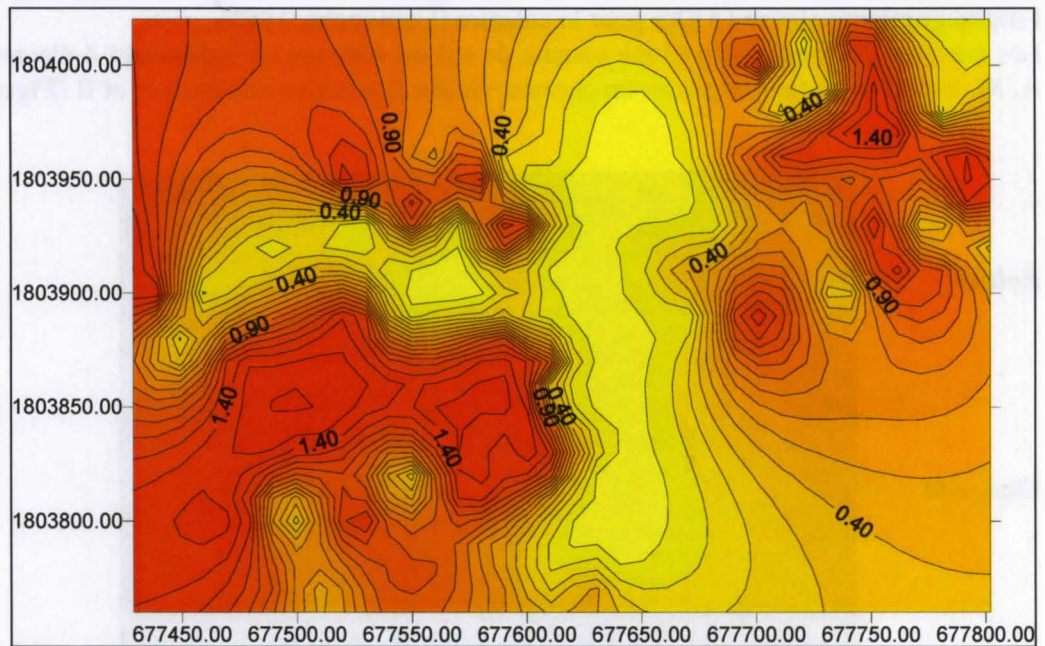
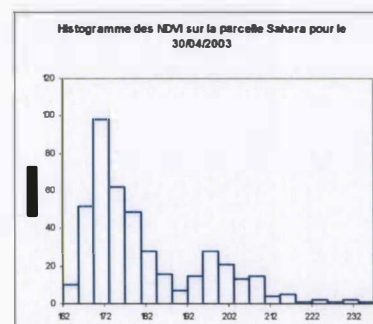
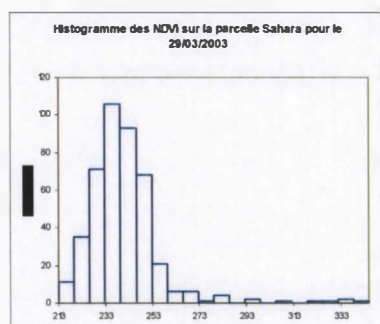
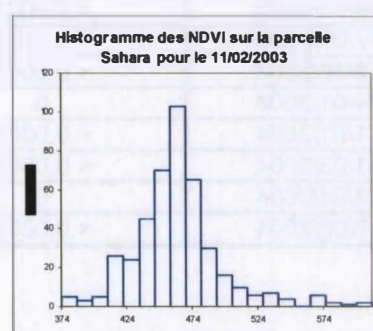
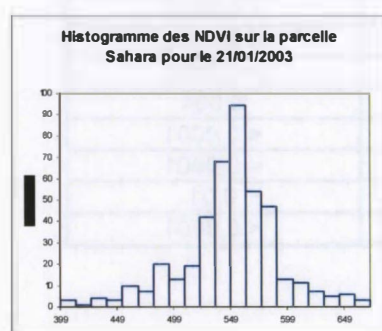
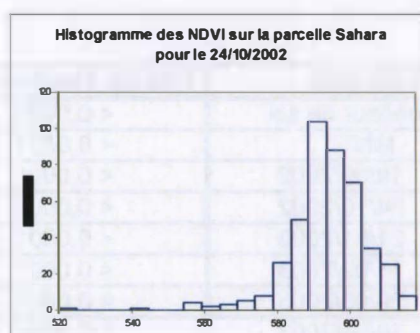
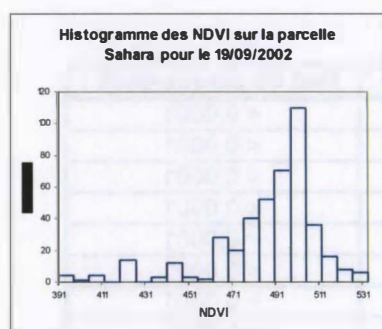
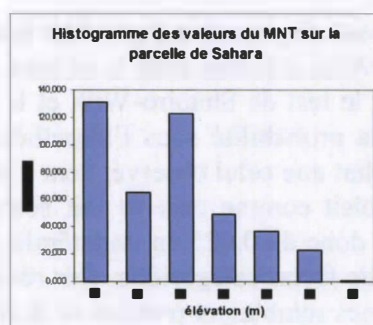
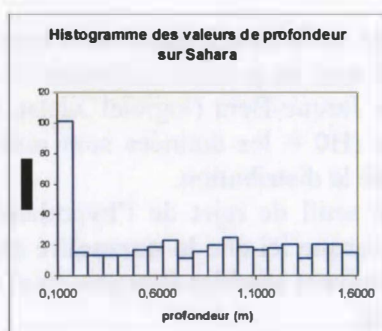


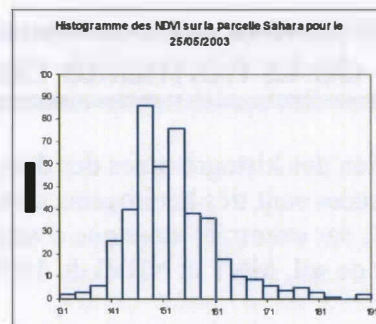
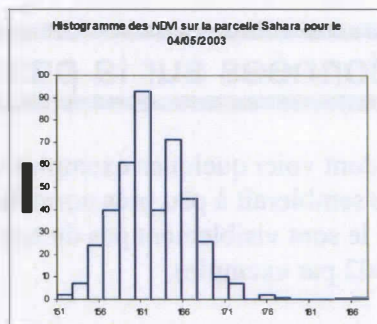
Figure 2 : carte de profondeur de sol de la parcelle Sanara

Annexe 4

Etude de la normalité des données sur la parcelle Sahara

L'observation des histogrammes des données dont voici quelques exemples ci-dessous, montre que les données sont très hétérogène, certaines semblerait à peu près normales (image NDVI du 21/01/2003, par exemple) alors que d'autre ne le sont visiblement pas du tout (mesures de profondeur de sol, MNT et NDVI du 19/09/2002 par exemple).





Dans un souci de pouvoir automatiser la méthode, nous avons tester cette normalité :

Les probabilités données dans le tableau suivant sont les p-value unilatérales calculées par 2 tests différents : le test de Shapiro-Wilk et le test de Jarque-Bera (**logiciel Xlstat**, essai). Ces valeurs indiquent la probabilité sous l'hypothèse nulle (H_0 = les données sont normales) d'obtenir le même résultat que celui observé, vers la droite de la distribution.

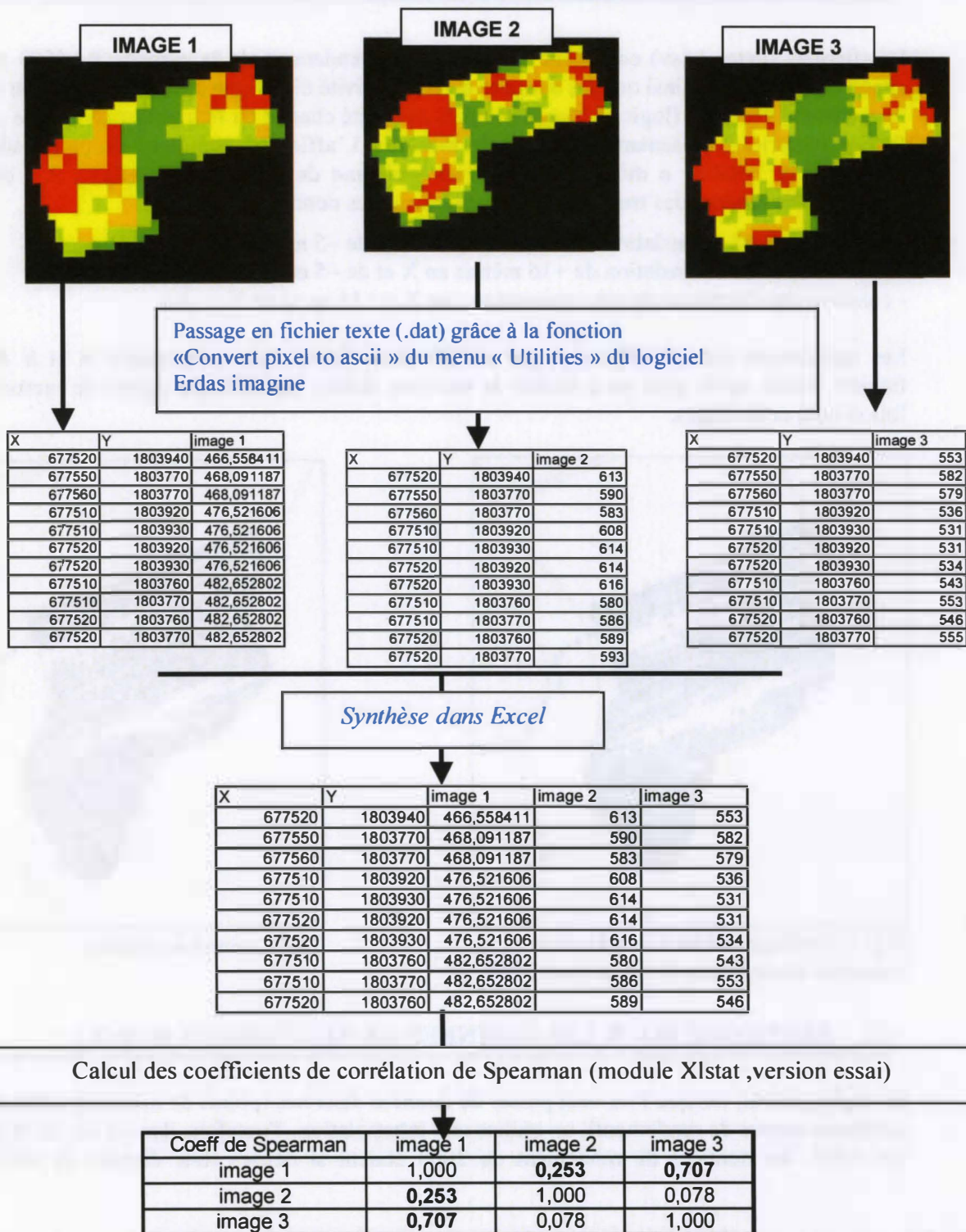
Si l'on choisit comme cela se fait souvent un seuil de rejet de l'hypothèse nulle de 0.05 en bilatéral et donc de 0.025 en unilatérale, on remarque ici que **la normalité est rejetée** dans tous les cas, et de façon catégorique. Ces résultats peuvent sembler étranges étant donné que certains histogrammes semblaient proches de la normalité.

Dans tous les cas, nous considérerons dans la suite de l'étude que les données ne sont pas normales.

Variables		Test de Shapiro-Wilk :	Test de Jarque-Bera :
profondeur de sol		< 0,0001	< 0,0001
MNT		< 0,0001	< 0,0001
I m a g e s N D V I d u	19/09/2002	< 0,0001	< 0,0001
	24/10/2002	< 0,0001	< 0,0001
	21/01/2003	< 0,0001	< 0,0001
	11/02/2003	< 0,0001	< 0,0001
	29/03/2003	< 0,0001	< 0,0001
	30/04/2003	< 0,0001	< 0,0001
	04/05/2003	< 0,0001	< 0,0001
	25/05/2003	< 0,0001	< 0,0001
	17/07/2003	< 0,0001	< 0,0001
	12/09/2003	< 0,0001	< 0,0001
	04/01/2004	0	0,004
	31/01/2004	< 0,0001	< 0,0001
	01/03/2004	< 0,0001	< 0,0001
	12/04/2004	0	0,01
	19/06/2004	< 0,0001	< 0,0001

Annexe 5

Méthodologie du calcul des coefficients de corrélation de Spearman avec l'extension « Xlstat » (version d'essai) d'Excel



En gras, valeurs significatives (hors diagonale) au seuil alpha=0,050 (test bilatéral)

Annexe 7

Réalisation des cartes de rendement et de conductivité électrique

B. LES PRE-TRAITEMENTS

Les fichiers textes (.csv) contenant les mesures de rendement de la parcelle BA6503 pour les années 2001 et 2003 ainsi que les données de conductivité électrique des sols ont été tout d'abord importés dans un SIG (logiciel MapInfo, après avoir été changé en fichier Excel) afin de créer un fichier vectoriel représentant les points de mesures. L'affichage simultané du parcellaire de la plantation de Médine a mis en évidence un problème de superposition (fig1), il a donc été nécessaire de réaliser des translations afin de recaler les données :

- rendement 2001 : translation de +12 mètres en X et de -5 m en Y
- rendement 2003 : translation de +16 mètres en X et de -5 en Y
- conductivité électrique de sol : translation : en X = +11 m et en Y = -6m

Les translations ont été effectuées par modification directe des coordonnées X et Y dans les fichiers textes, après quoi on a recréer le nouveau fichier vectoriel des points de mesures cette fois si bien calés (fig2).

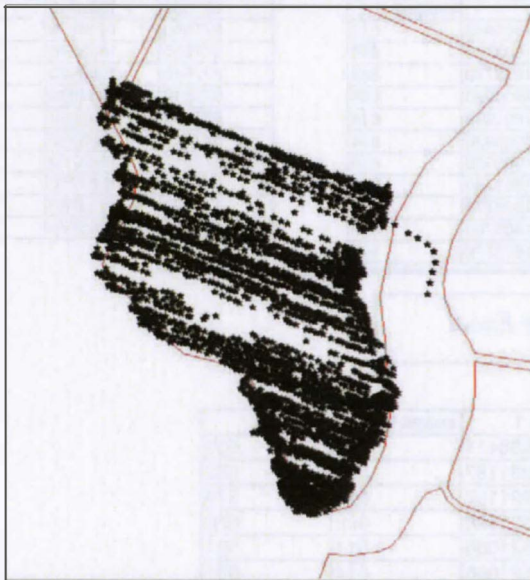


Fig1 : décalage constaté des données
(exemple des mesures de rendement 2001)

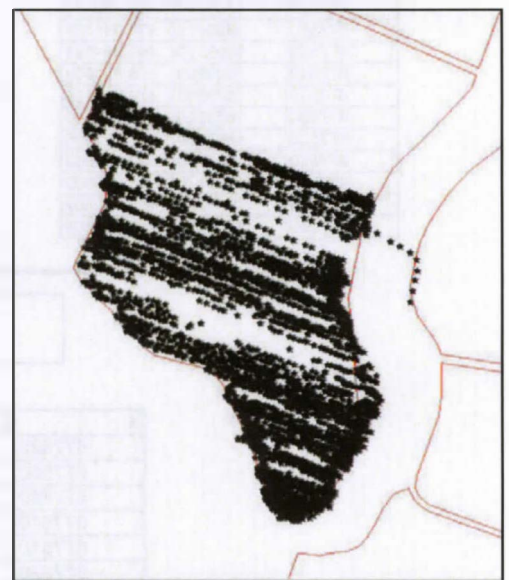


Fig2 : données recalées

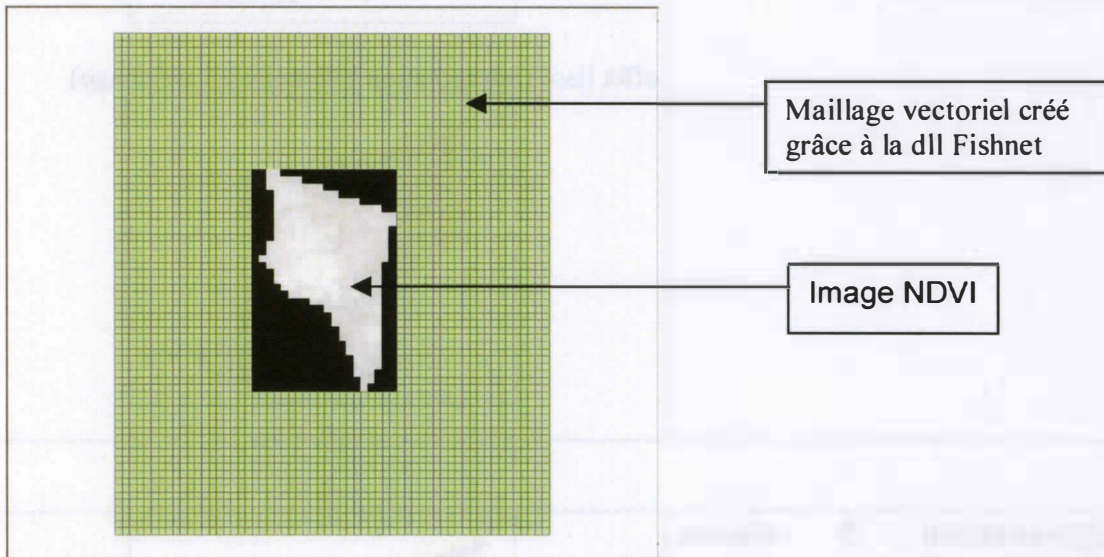
C. METHODE POUR LES DONNEES DE RENDEMENT 2003 :

En règle général, lorsque l'on veut passer de données discrètes (points de mesures) à des données continues (cartes de rendement), on réalise une interpolation. Toutefois, dans le cas de la parcelle BA 6503, les données de rendement de 2003 étaient si denses (une dizaine de centimètres

d'écart) qu'une interpolation était inutile. En effet, nous souhaitons créer une carte de rendement où les pixels auraient une taille comparable au image NDVI soit 10m par 10 m.

Nous avons donc procédé de la façon suivante :

1) création dans ARCGIS d'un Shapefile (vecteur) constitué de polygones carrés (10*10 m) formant un maillage exactement superposable aux pixels des images ERDAS de NDVI. Pour cela, j'ai téléchargé une dll appelé «Fishnet », (http://arcgisdeveloperonline.esri.com/ArcGISDeveloper/Samples/3D_Analyst/Visualization/ArcScene/Surface_Fishnet/Surface_Fishnet.htm)



2) Réalisation d'une JOINTURE SPATIALE entre ce maillage et le Shapefile contenant les points de rendement, en demandant de calculer par polygone la MOYENNE des points se trouvant dedans.

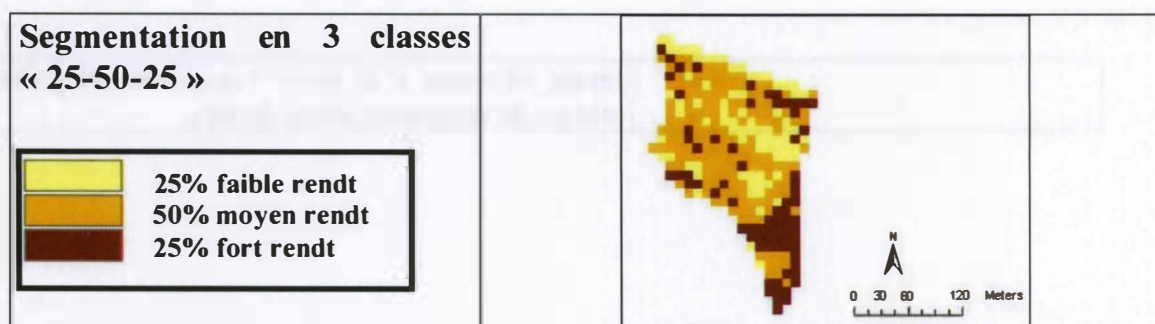
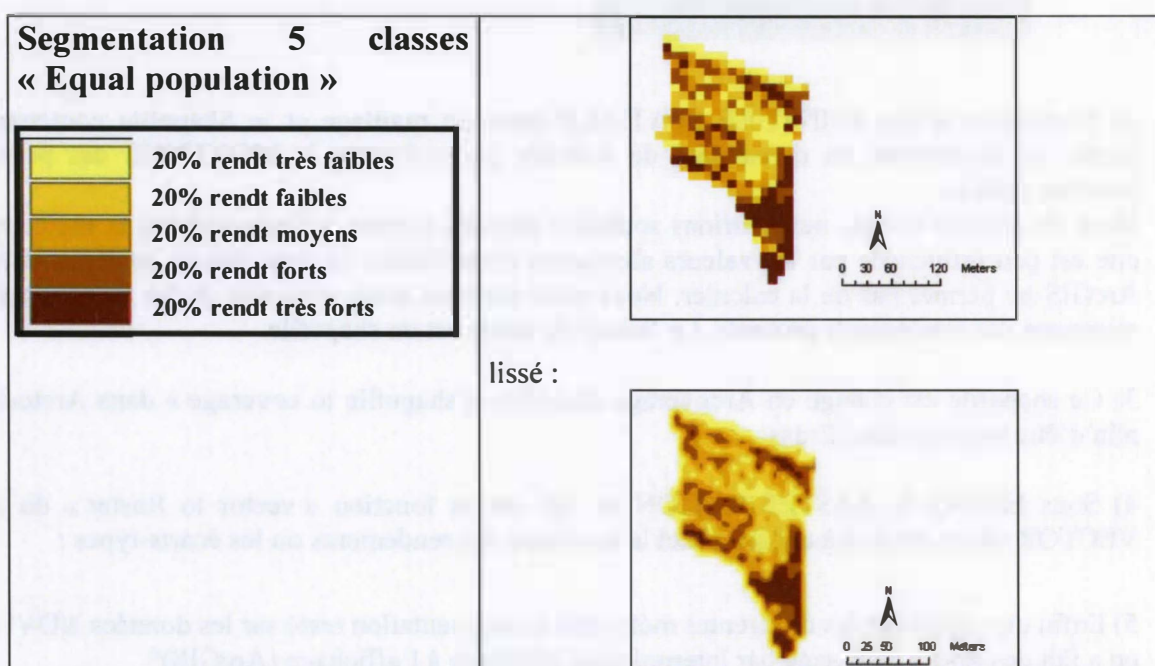
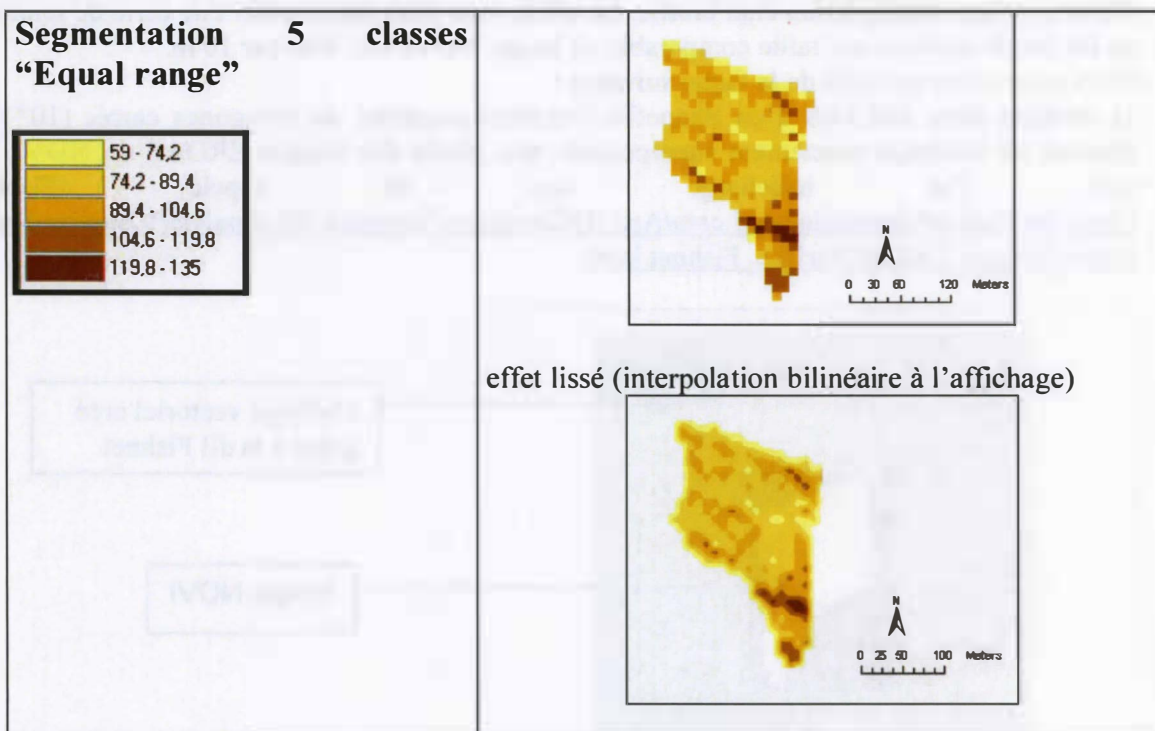
Dans un premier temps, nous aurions souhaiter prendre comme valeur-synthèse **la médiane** car elle est peu influencée par les valeurs aberrantes (trop faibles ou trop fortes), malheureusement ArcGIS ne permet pas de la calculer. Nous nous sommes donc contenté de lui faire calculer **la moyenne** des rendements présents. Le fichier de sortie est un shapefile.

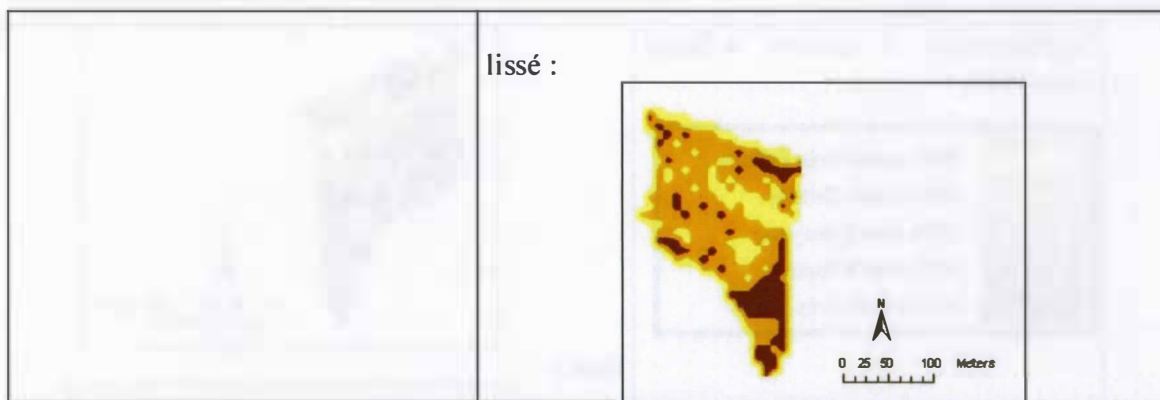
3) Ce shapefile est changé en Arccoverage (fonction « shapefile to coverage » dans Arctoolbox) afin d'être importé dans Erdas

4) Sous ERDAS la RASTERISATION se fait par la fonction « vector to Raster » du menu VECTOR où on attribut à chaque pixel la moyenne des rendements ou les écarts-types :

5) Enfin on a appliqué les différentes méthodes de segmentation testé sur les données NDVI et on a fait des essais de lissage par interpolation bilinéaire à l'affichage (ArcGIS)°

	Image où valeur d'un pixel = moyenne des points de mesure de rendement situés dedans
--	--



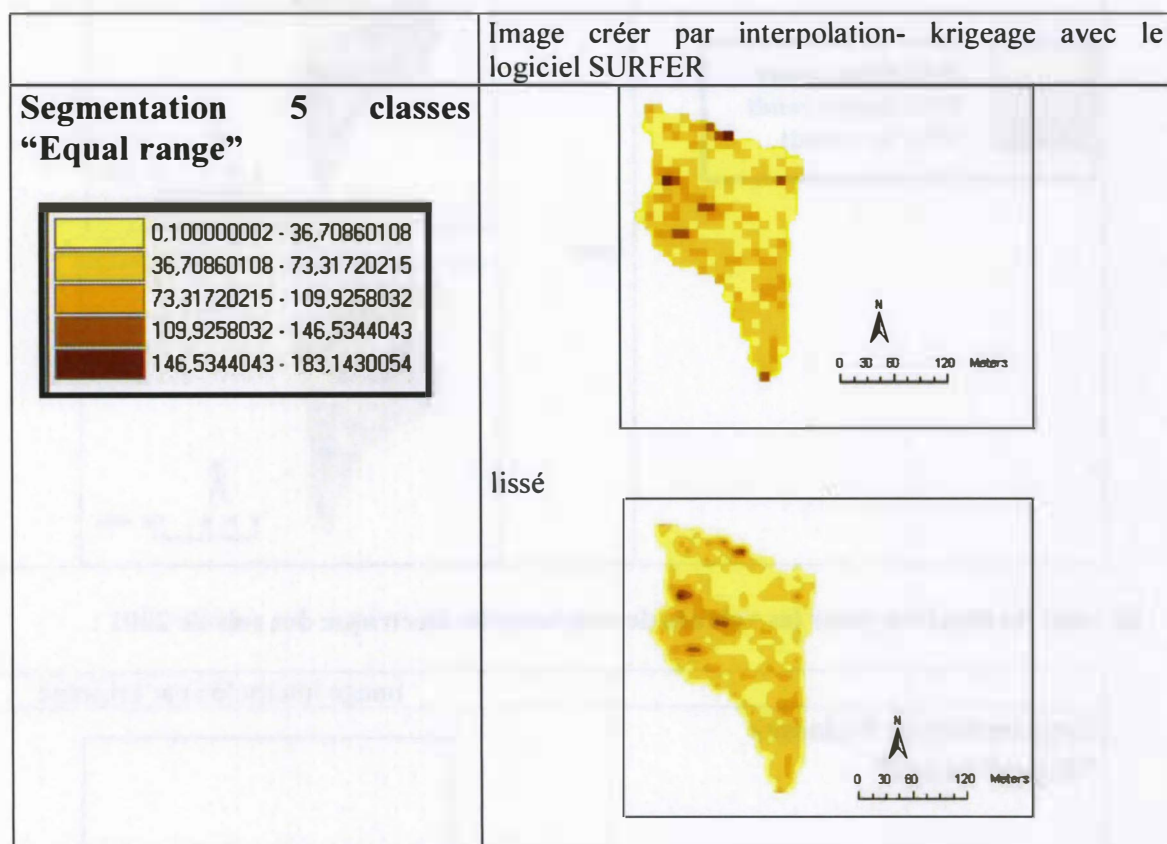


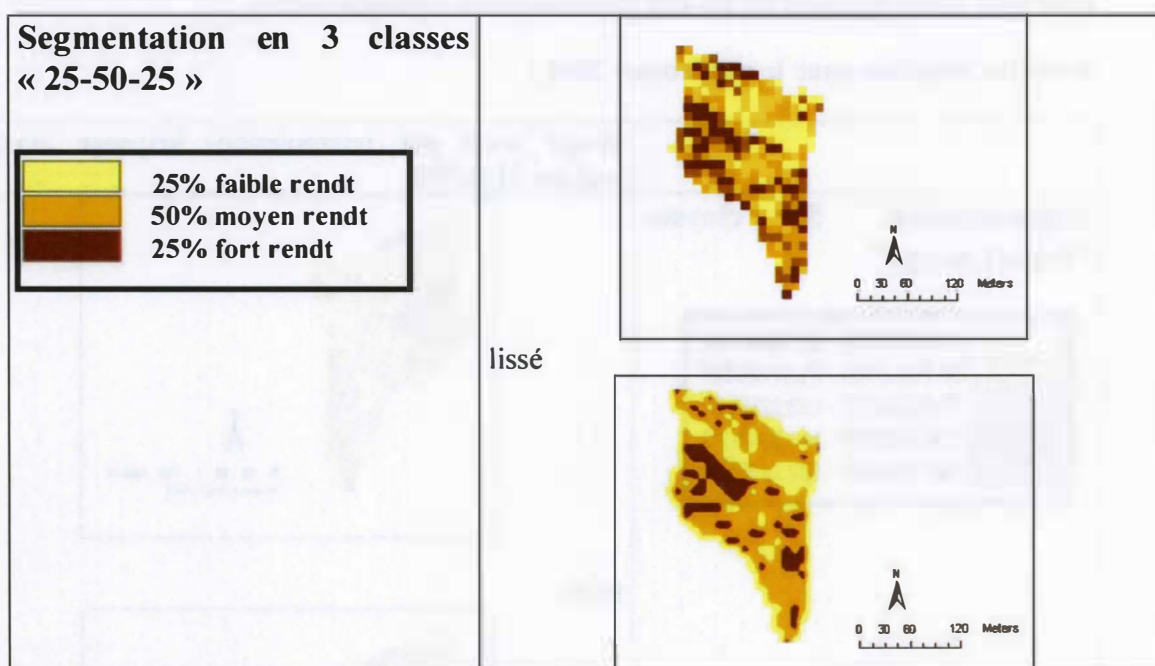
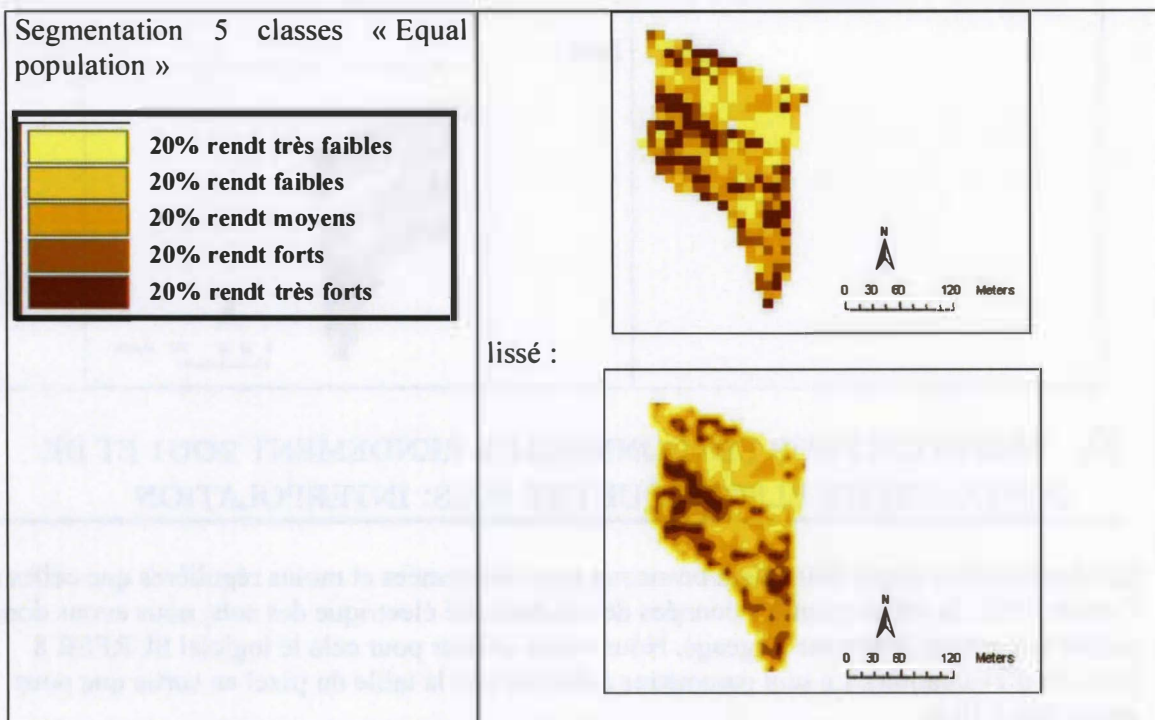
D. METHODE POUR LES DONNEES DE RENDEMENT 2001 ET DE CONDUCTIVITE ELECTRIQUE DES SOLS: INTERPOLATION

Les données de l'année 2001 étant beaucoup plus clairsemées et moins régulières que celles de l'année 2003, de même pour les données de conductivité électrique des sols, nous avons donc réalisé une interpolation par krigeage. Nous avons utilisé pour cela le logiciel SURFER 8 (version d'évaluation). Le seul paramètre à définir est la taille du pixel en sortie que nous avons fixé à 10 m.

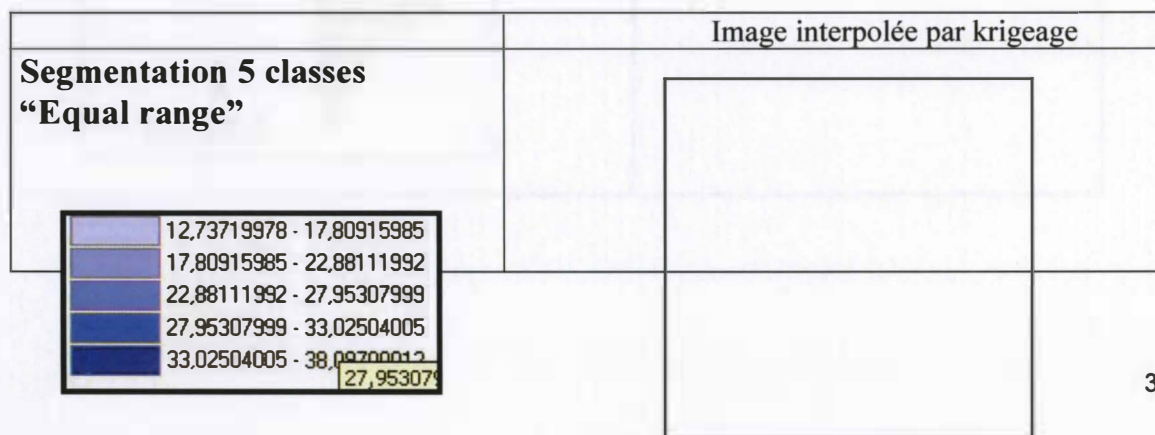
Puis nous avons appliqué les mêmes représentations cartographiques

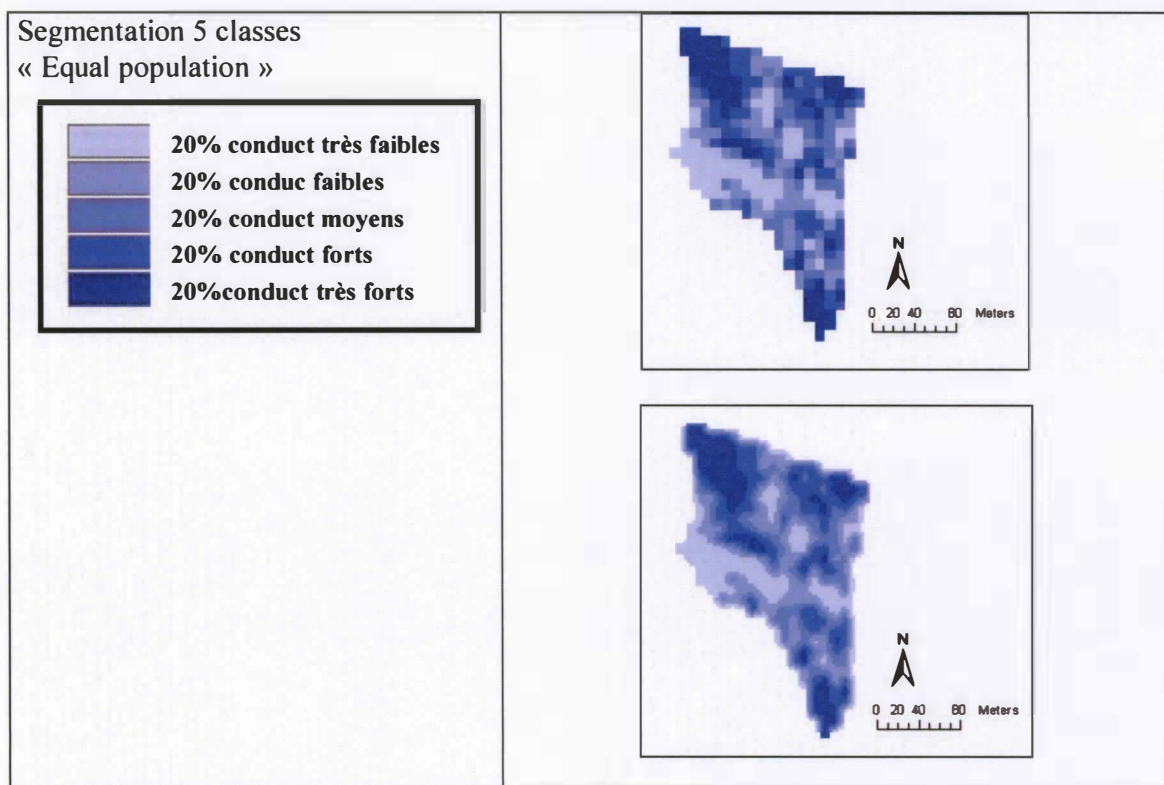
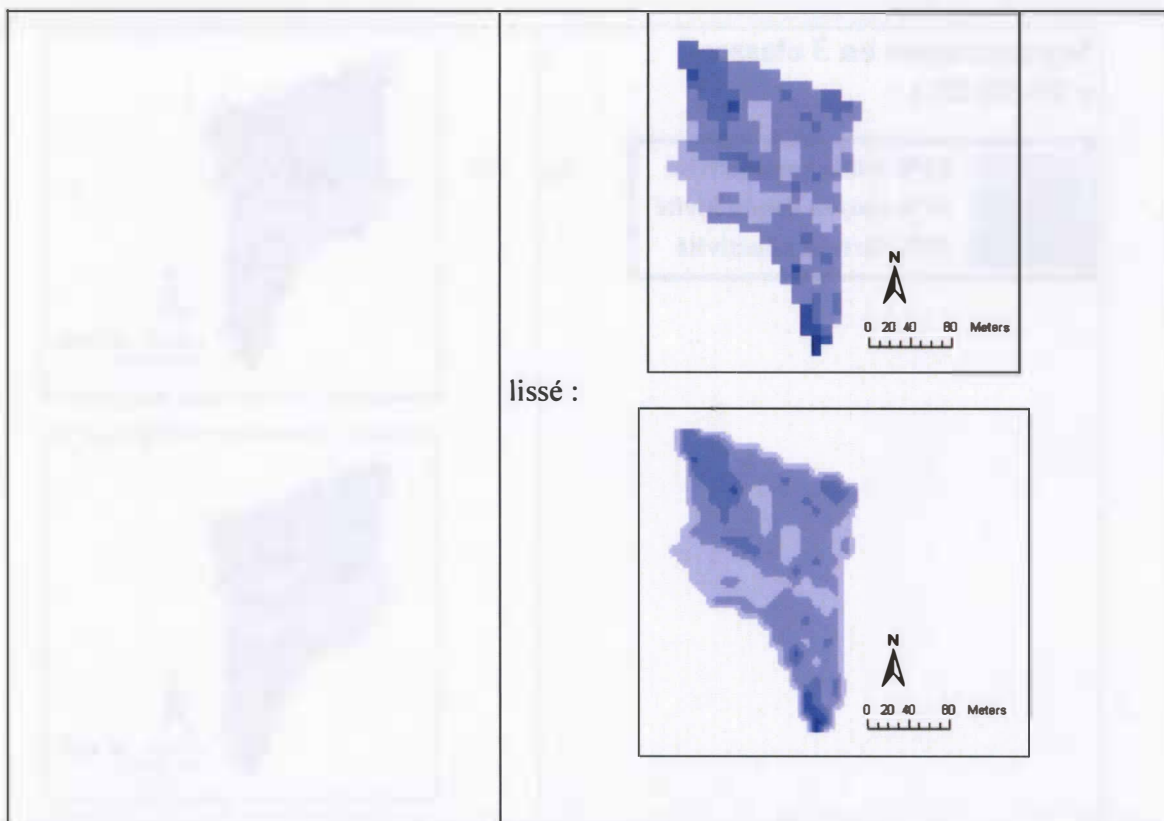
Voici les résultats pour le rendement 2001 :



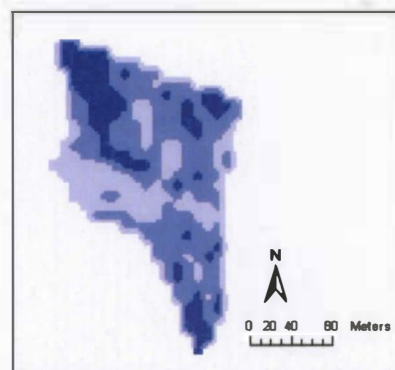
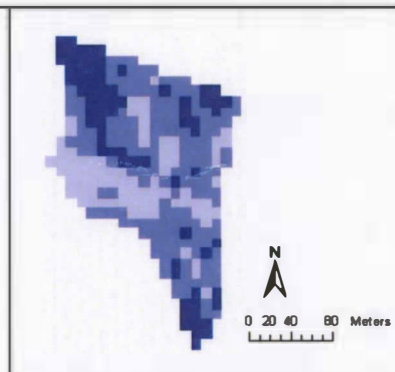
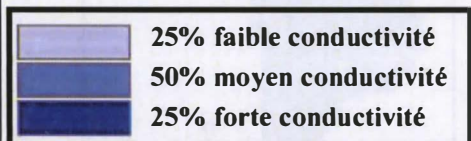


Et voici les résultats pour les valeurs de conductivité électrique des sols de 2001 :






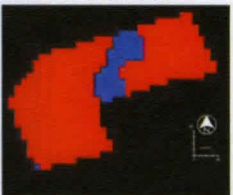
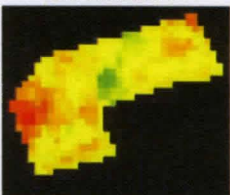
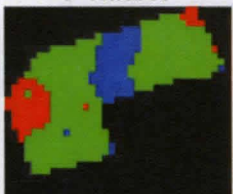

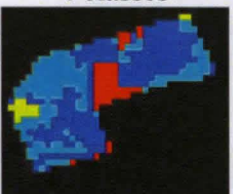

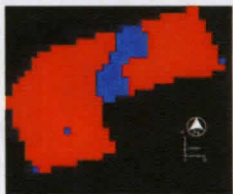
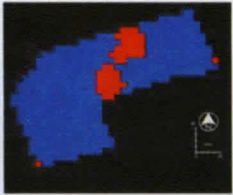
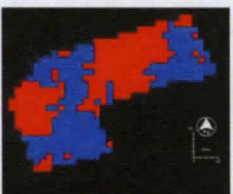
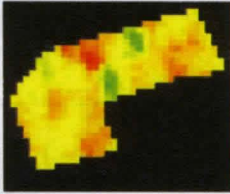

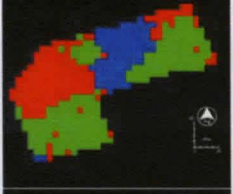
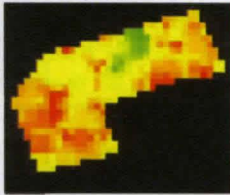


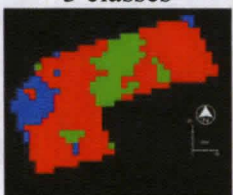
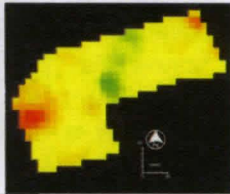
Segmentation en 3 classes **« 25-50-25 »**

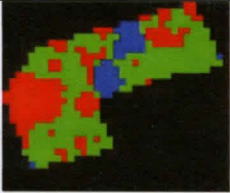
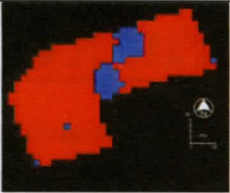
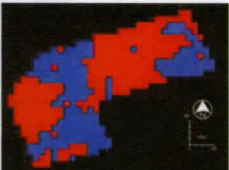
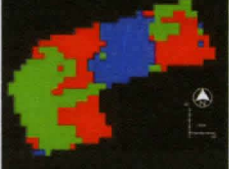
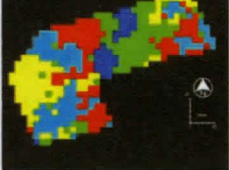
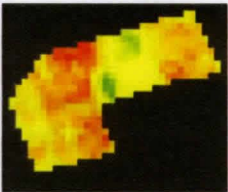
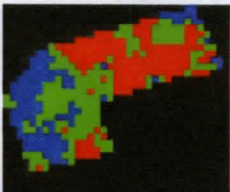


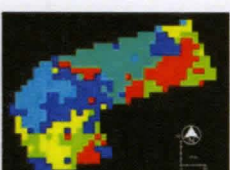
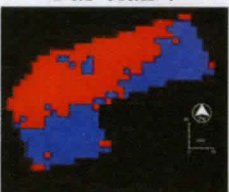
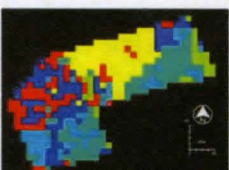
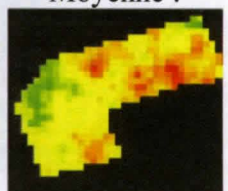
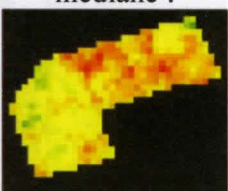
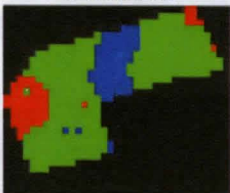

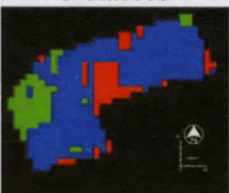
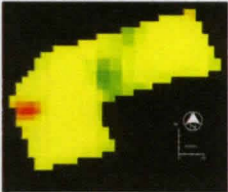
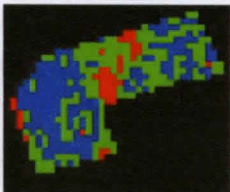
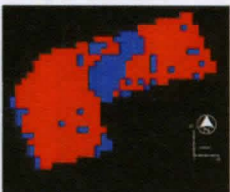
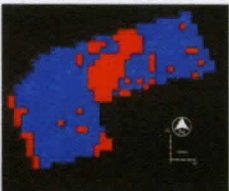
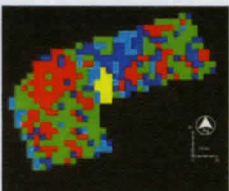
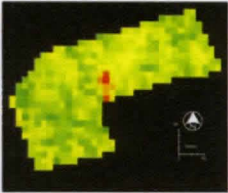


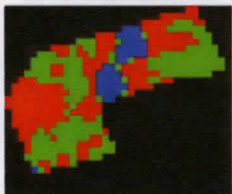
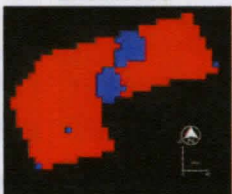
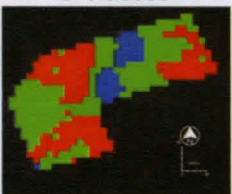
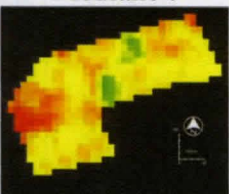
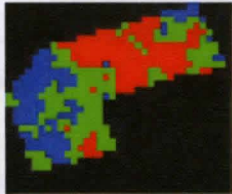

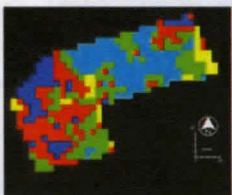
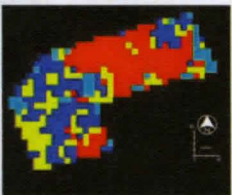
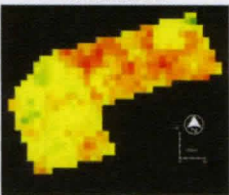
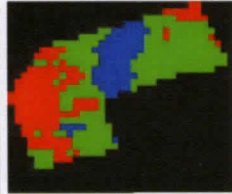
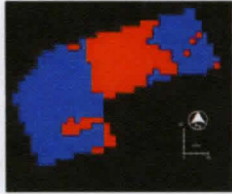
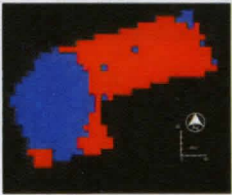
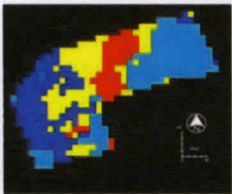
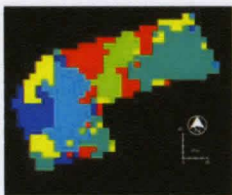
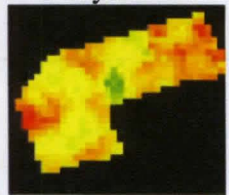
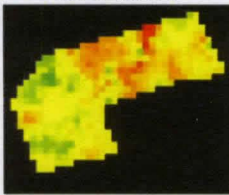
Annexe 8

Synthèse des résultats de l'étude multitemporelle des parcelles SAHARA et BA6503

Parcelle SAHARA :

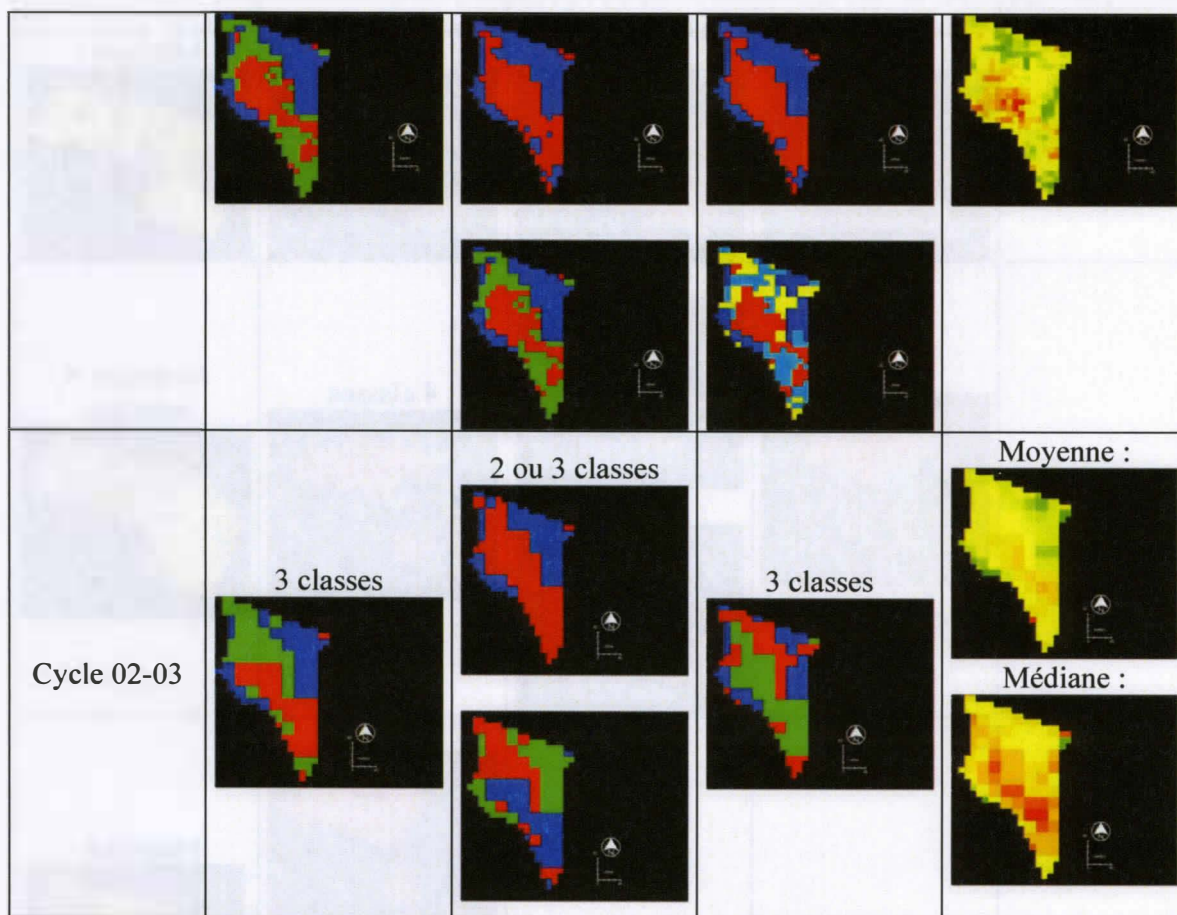
période	ERDAS	MZA		Image de Synthèse
		Euclidien	Mahalanobis	
Globale	3 classes 	2 classes 	rien	Médiane : 
Cycle 02-03	3 classes 	3 classes 	4 classes 	Médiane : 
Cycle 03-04	Pas très clair ! 	2 classes 	Pas clair ! 	Pas clair ! Moyenne : 
				médiane : 
Sénescence 02	3 classes 	3 classes 	3 classes 	Moyenne = Médiane 
Croissance 03	3 classes	2 classes	Pas clair !	Moyenne =

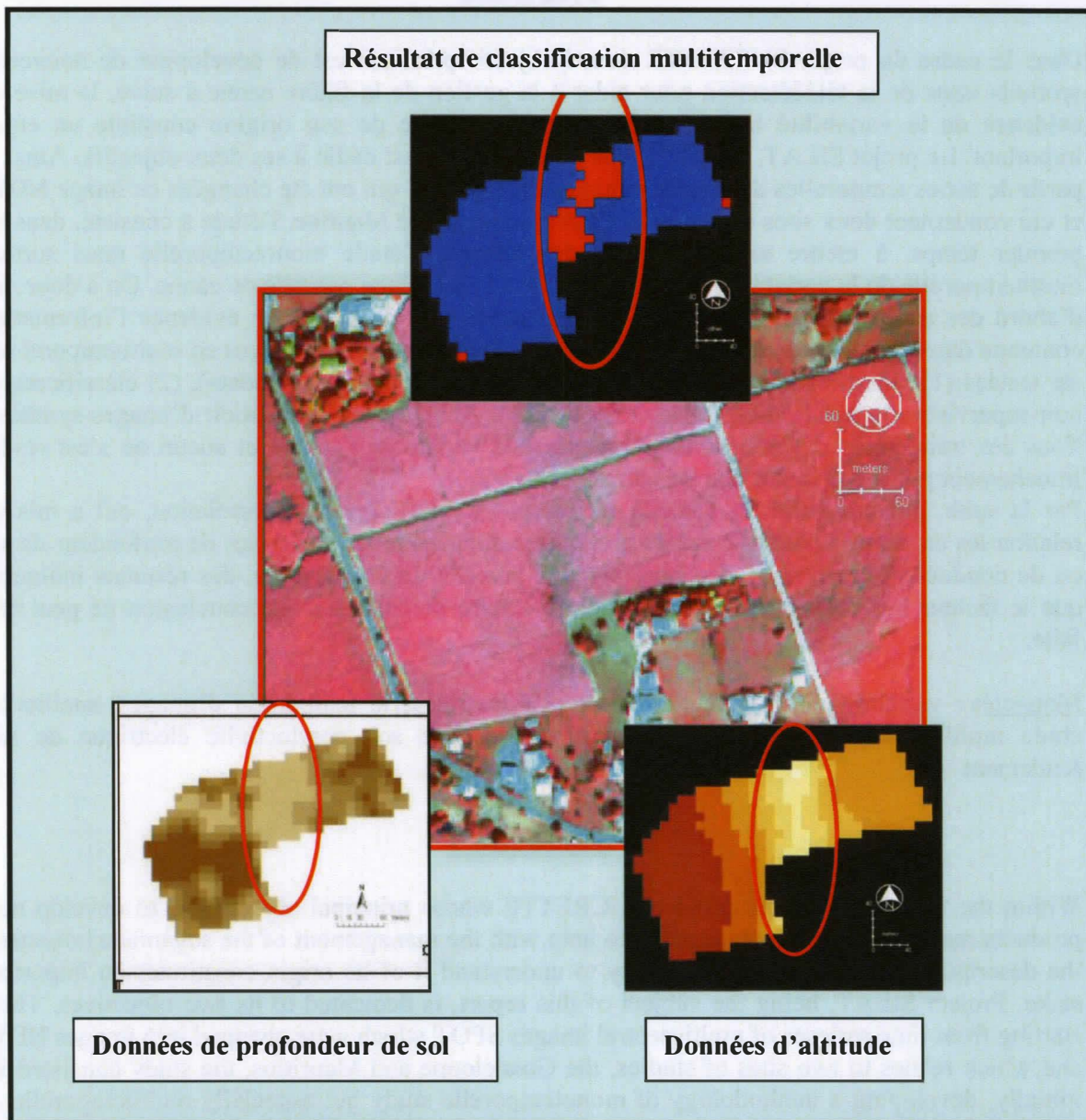
			  	Médiane 
Sénescence 03 : faciès bizarre	Pas clair !  	Pas clair !  	Pas clair !  	Pas clair ! Moyenne :  médiane : 
P1	3 classes 	3 classes 	3 classes 	Moyenne = médiane 
P2 : minéralisation du paillis et peut être mauvaises herbes ou redépart	3 classes 	2 classes 	Pas clair  	Moyenne = médiane 

P3	3 classes 	2 classes 	3 classes 	Médiane : 
P4 : bizarre		Pas clair !  	4 classes 	Moyenne = médiane 
Inter-annuel	3 classes 	2 classes 	Pas clair !   	Moyenne :  médiane : 

Parcelle BA6503 :

	ERDAS	MZA		Image de Synthèse
		Euclidien	Mahalanobis	
Globale	2 classes	Pas clair (2 ou 3)	Pas clair (2 ou 4)	Moyenne = Médiane :





Le développement des nouvelles technologies telle que la télédétection a permis l'essor de l'agriculture de précision. Pour la canne qui est culture pour laquelle on a beaucoup de difficultés à surveiller la croissance à l'intérieur des parcelles, il y a désormais des espions, les satellites, qui peuvent nous renseigner sur la variabilité intra-parcellaire existante. Ces nouvelles informations peuvent désormais être mise en relation avec d'autres de données afin de mieux comprendre les facteurs qui interviennent dans le développement de la culture.

Résumé

Dans le cadre du projet SUCRETTE dont l'objectif principal est de développer de nouveaux produits issus de la télédétection pour aider à la gestion de la filière canne à sucre, la mise en évidence de la variabilité intra-parcellaire la comprendre de son origine constitue un enjeu important. Le projet SILAT, faisant l'objet de ce rapport, est dédié à ses deux objectifs. Ainsi, à partir de séries temporelles d'images multispectrales SPOT qui ont été changées en image NDVI et qui concernent deux sites d'études, la Guadeloupe et l'île Maurice, l'étude a consisté, dans un premier temps, à mettre au point une méthodologie d'étude monotemporelle mais surtout multitemporelle de la variabilité spatiale présente au sein d'une parcelle de canne. On a donc fait d'abord des essais de segmentations d'histogrammes afin de mettre en évidence l'information contenue dans chaque image, puis trois méthodes de traitement des images en multitemporel ont été testées (1) classifications non-supervisée avec le logiciel Erdas (Isodata), (2) classifications non-supervisées logiciel MZA (Management Zone Analyst) et (3) création d'images-synthèse. Tous ces traitements ont permis de caractériser la variabilité spatiale et aucun ne s'est révélé franchement plus performant que les autres.

Par la suite, par comparaison visuelle ou calcul de coefficients de corrélation, ont a mis en relation les cartes de variabilité créées et d'autres données telles des cartes de profondeur de sol ou de conductivité électrique des sols. Sur une parcelle de Guadeloupe, des résultats indiquent que le facteur hydrique est prédominant .Pour l'autre parcelle, aucune conclusion ne peut être faite.

Mots-clés : variabilité intra-parcellaire, canne à sucre, série temporelle d'images satellitaires, étude multitemporelle, NDVI, carte de profondeur de sol, conductivité électrique de sol, rendement

Abstract :

Within the framework of the project SUCRETTE whose principal objective is to develop new products resulting from remote sensing to help with the management of the sugarcane buissness, the description of within-field variability to understand it of its origin constitutes an important stake. Project SILAT, being the subject of this report, is dedicated to its two objectives. Thus, starting from time serieses of multispectral images SPOT which were changed into images NDVI and which relates to two sites of studies, the Guadeloupe and Mauritius, the study consisted in, initially, developing a methodology of monotemporelle study but especially multitemporelle of spatial variability presents within a field of sugarcane. We thus initially carried out tests of segmentations of histograms in order to highlight information contained in each image, then three methods of image processing in multitemporel were tested : (1) unsupervised classification with Erdas software, (2) unsupervised classification with MZA (Management Zone Analyst)software, and (3) synthesis-images. All these treatments made it possible to characterize spatial variability and none appeared frankly more powerful than the others. Thereafter, by visual comparison or calculation of coefficients of correlation, have connected the maps of variability created and other data such of the charts of depth of soil or electric conductivity of the soils. For a field of Guadeloupe, results indicate that the water disponibility is the prevalent factor. For the other studied field, no conclusion cannot be made.

Keu words : within-field variability, sugarcane, temporal series of remote sensing images, multitemporal study, NDVI, depth of soil, electric conductivity, yield.